

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA  
SEDE QUITO**

**CARRERA:  
INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:  
INGENIEROS ELECTRÓNICOS**

**TEMA:  
DESARROLLO DE UN SISTEMA SEMI-AUTOMÁTICO DE SUJECCIÓN  
PARA CORTE LONGITUDINAL DE AGLOMERADO EN UNA SIERRA  
CIRCULAR DE MESA PARA LA EMPRESA AMBIENTE MODULAR**

**AUTORES:  
JONATHAN JAVIER ALVEAR RODRÍGUEZ  
JULIO LEONARDO LLUMIQUINGA LEMA**

**TUTOR:  
JOSÉ ALCIDES RUMIPAMBA LÓPEZ**

**Quito, agosto del 2018**

## **CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR**

Nosotros, Jonathan Javier Alvear Rodríguez, Julio Leonardo Llumiquinga Lema, con documentos de identificación N° 1718161472 y N° 1724486244, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de titulación intitulado: “DESARROLLO DE UN SISTEMA SEMI-AUTOMÁTICO DE SUJECCIÓN PARA CORTE LONGITUDINAL DE AGLOMERADO EN UNA SIERRA CIRCULAR DE MESA PARA LA EMPRESA AMBIENTE MODULAR”, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de Ingenieros Electrónicos, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribimos este documento en el momento que hacemos entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



Jonathan Javier Alvear Rodríguez  
C.I.: 1718161472



Julio Leonardo Llumiquinga Lema  
C.I.: 1724486244

Quito, agosto 2018

## **DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR**

Yo, declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el trabajo de titulación "DESARROLLO DE UN SISTEMA SEMI-AUTOMÁTICO DE SUJECCIÓN PARA CORTE LONGITUDINAL DE AGLOMERADO EN UNA SIERRA CIRCULAR DE MESA PARA LA EMPRESA AMBIENTE MODULAR" realizado por Jonathan Javier Alvear Rodríguez, Julio Leonardo Llumiquinga Lema, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana, para ser considerados como trabajo final de titulación.

Quito, agosto de 2018



.....

José Alcides Rumipamba López

C.I.: 1803854353

## **DEDICATORIA**

A Dios dedico este gran logro que me supo guiar por el mejor camino para alcanzar la meta deseada. A mis padres que nunca dudaron de mí, que jamás dieron su brazo a torcer y siempre estuvieron apoyándome en todo momento, aconsejándome para no desfallecer, guiándome para no caer, a ellos se los debo todo.

A mis abuelitas por siempre darme hermosas palabras de aliento, amor incondicional y por ser grandes ejemplos de vida a seguir.

A mis queridos abuelitos que estoy seguro que están muy orgullosos y felices de este nuevo logro en mi vida. A pesar de que ya no están, siempre me han estado cuidando y guiándome desde el cielo.

A toda mi familia que paso felicidades y sufrimientos en toda esta etapa universitaria, les dedico este trabajo de titulación.

Jonathan Javier Alvear Rodríguez

Dedico este trabajo a mi madre Mariana, a mi padre Adán por apoyarme incondicionalmente, por su amor y enseñanza. A mi hermana Estefanía por darme un ejemplo diario de lucha y superación. A mis amigos y familia que creyeron en mí, sus consejos y el aprecio durante todos estos años.

Julio Leonardo Llumiquinga Lema

## **AGRADECIMIENTO**

Por la culminación de la presente Tesis, agradezco a Dios por brindarme la oportunidad de alcanzar y culminar esta nueva etapa de mi vida. A mis padres por dedicarme su ayuda y amor incondicional en los momentos más duros de mi vida, ya que sin ellos nada de esto fuera posible.

A nuestro tutor José Rumipamba que gracias a su guía, consejos y conocimientos, éste gran sueño se pudo completar. De la misma manera agradezco a la Universidad Politécnica Salesiana por formar un gran profesional y sobre todo un gran ser humano.

Desde luego agradezco a Leonardo Llumiquinga, por el compromiso y dedicación brindada en el desarrollo del proyecto, además por ser un gran amigo, y brindar su apoyo en los momentos difíciles de la carrera Universitaria.

Jonathan Javier Alvear Rodríguez

Agradezco a Dios, por brindar salud a mi familia y permitirme culminar mis estudios. Así también. A mis padres por brindarme esta oportunidad y su esfuerzo constante a lo largo de toda mi vida. Así también, a la Universidad Politécnica Salesiana y sus docentes que a lo largo de estos años compartieron sus conocimientos y experiencias ayudándome a crecer como persona. Agradezco a mi compañero de trabajo y a su familia por ayudarme a culminar esta etapa.

Julio Leonardo Llumiquinga Lema

## ÍNDICE DE CONTENIDO

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR .....	i
DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR .....	ii
DEDICATORIA .....	iii
AGRADECIMIENTO .....	iv
ÍNDICE DE CONTENIDO .....	v
ÍNDICE DE FIGURAS .....	vii
ÍNDICE DE TABLAS .....	ix
RESUMEN .....	x
ABSTRACT .....	xi
INTRODUCCIÓN .....	xii
<b>CAPÍTULO 1</b> .....	1
<b>ANTECEDENTES</b> .....	1
1.1 Planteamiento del problema .....	1
1.2 Justificación del proyecto .....	1
1.3 Objetivos .....	2
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	3
<b>MARCO CONCEPTUAL</b> .....	3
2.1 Empresa Ambiente Modular .....	3
2.2 Máquinas cortadoras de Madera .....	3
2.3 Proceso de Corte de Aglomerado .....	5
2.4 Sistema semi-automático .....	5
2.5 Sierra Circular .....	5
2.6 Sistemas de Transmisión de movimiento .....	6
2.7 Sistema de Sujeción al Vacío .....	7
2.8 Motor de avance paso a paso .....	7
2.9 Arduino .....	8

2.10 Sistemas de control .....	9
<b>CAPÍTULO 3.....</b>	<b>11</b>
<b>DESARROLLO DEL SISTEMA SEMI-AUTOMÁTICO .....</b>	<b>11</b>
3.1 Operación de la máquina cortadora de forma manual .....	11
3.2 Caracterización del sistema manual de corte.....	12
3.3 Arquitectura del Sistema Propuesto .....	15
3.4 Tablero de Control .....	17
3.5 Tablero Eléctrico.....	21
3.6 Sistema de posicionamiento de guía de corte.....	23
3.7 Sistema de Sujeción de Aglomerado .....	30
3.8 Diagrama de Bloques del Sistema .....	31
3.9 Programación de la tarjeta electrónica .....	33
<b>CAPÍTULO 4.....</b>	<b>39</b>
<b>ANÁLISIS Y RESULTADOS.....</b>	<b>39</b>
4.1 Implementación del sistema propuesto .....	39
4.2 Pruebas Opción Escuadrar.....	40
4.3 Prueba del Sistema de Seguridad.....	41
4.4 Pruebas de precisión de corte en lazo abierto.....	41
4.5 Ajuste de operación de la guía de corte .....	45
4.6 Pruebas del sistema en Lazo Cerrado .....	48
4.7 Comparación del Sistema en Lazo Abierto y Lazo Cerrado .....	51
4.8 Conclusiones.....	54
4.9 Recomendaciones .....	56
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>57</b>
<b>ANEXOS</b>	

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2. 1. Tipos de Sierras Comerciales .....	4
Figura 2. 2. Proceso de corte .....	5
Figura 2. 3. Mecanismo Rodamiento Lineal .....	6
Figura 2. 4. Diagrama de Motor a pasos Unipolar .....	8
Figura 3. 1. Máquina Manual .....	11
Figura 3. 2. Máquina Manual de corte .....	12
Figura 3. 3. Motor de Sierra .....	13
Figura 3. 4. Breaker C60N .....	13
Figura 3. 5. Método de Fijación de Corte .....	14
Figura 3. 6. Acoplamiento mecánico Sierra-Motor .....	14
Figura 3. 7. Relación de Transmisión de movimiento .....	15
Figura 3.8. Sistema Semi-Automático .....	16
Figura 3. 9. Panel de Control.....	17
Figura 3. 10. Panel de control Vista Interna.....	18
Figura 3. 11. Driver Motores a pasos.....	19
Figura 3. 12. Diagrama Esquemático de Control de Motores a Pasos.....	20
Figura 3. 13. Diagrama Esquemático de Relés.....	21
Figura 3. 14. Tablero Eléctrico .....	21
Figura 3. 15. Diagrama de Fuerza de Motor de Sierra.....	23
Figura 3. 16. Sistema de posicionamiento de Corte .....	24
Figura 3. 17. Sistema de traslación de la Guía de Medición .....	24
Figura 3. 18. Mecanismo de desplazamiento .....	25
Figura 3. 19. Motor a Paso SHINANO KENSHI.....	25
Figura 3. 20. Detalles Piñón .....	26
Figura 3. 21. Cremallera.....	27
Figura 3. 22. Cremallera y piñón .....	27
Figura 3. 23. Relación Número de paso y Distancia .....	30
Figura 3. 24. Sujeción por vacío .....	30
Figura 3. 26. Esquema Neumático.....	31
Figura 3. 27. Diagrama de Bloques del Sistema semiautomático de sujeción y corte .....	32
Figura 3. 28. Diagrama de Flujo principal del sistema .....	33



Figura 3. 29. Diagrama de Flujo de la operación Cortar.....	34
Figura 3. 30. Diagrama de Flujo de la operación Escuadrar .....	35
Figura 3. 31. Control de posicionamiento de guía.....	36
Figura 3. 32. Retroceso de Guía de corte .....	37
Figura 3. 33. Método contador .....	38
Figura 4. 1. Sistema Semi-automático .....	39
Figura 4. 2. Pruebas Sistema Sujeción.....	40
Figura 4. 3. Pruebas para el sistema de Seguridad .....	41
Figura 4. 4. Diagrama de bloques Sistema de corte .....	42
Figura 4. 5. Comparación Datos teóricos y Datos Reales.....	46
Figura 4. 6. Comparación Datos 5-100 mm.....	46
Figura 4. 7. Sistema de corte con retroalimentación.....	48
Figura 4. 8. Resultado Lazo Abierto, Ajuste y Lazo Cerrado.....	50
Figura 4. 9. Comparación del error Absoluto del sistema .....	52
Figura 4. 10. Comparación del error Relativo del sistema.....	53

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2. 1. Especificaciones Técnicas Arduino Mega .....	9
Tabla 3. 1. Detalle Conexión Arduino .....	19
Tabla 3. 2. Características MOSFET .....	20
Tabla 3. 3. Características de elementos tablero eléctrico .....	22
Tabla 3. 4. Especificaciones Motor a Paso.....	25
Tabla 3. 5. Relación Pasos, Grados y Distancia .....	28
Tabla 3. 6. Relación Pasos, Distancia .....	29
Tabla 3. 7. Características Técnicas Mesa de Vacío.....	30
Tabla 4. 1. Datos de corte de aglomerado .....	42
Tabla 4. 2. Medidas de corte de aglomerado a 50 mm, 200 mm y 400 mm .....	43
Tabla 4. 3. Pruebas de ajuste para el sistema de corte en lazo Abierto .....	47
Tabla 4. 4. Comparación de Error Absoluto y Relativo .....	48
Tabla 4. 5. Resultados Sistema Lazo abierto y Lazo cerrado.....	49
Tabla 4. 6. Medidas de corte de aglomerado a 50, 200 y 400mm .....	50
Tabla 4. 7. Error Absoluto y Relativo.....	52

## **RESUMEN**

La fabricación de muebles modulares en la Empresa Ambiente Modular es un trabajo que se lo realiza en su mayoría, utilizando máquinas para el corte de la madera. Estas máquinas poseen un sistema manual para desplazar las sierras verticalmente y otorgar la altura a la cual se desea trabajar, además de guías, las cuales se encargan de ubicar el tablero a la medida de corte deseada. El presente proyecto técnico tiene como principal objetivo automatizar el desplazamiento de la guía de corte, el cual se lo realizó en función de un sistema de engranes y cremalleras acopladas a dos motores a paso, mejorando así, la precisión de la misma. La contención de los tableros mediante dispositivos de sujeción neumático colocados en la parte móvil de la mesa, evitando de esta manera, problemas de golpeteo o regreso brusco de los mismos. También el sistema posee un panel de control, cuya función principal es la de accionar fácilmente la medida de corte deseada por el operador, supervisar dicha medida, visualizar información como la activación de alarmas preventivas, entre otras. Se ha dotado a la máquina de un sistema de seguridad el cual se enfoca en controlar el retorno de la guía de corte y la desactivación de la sierra para preservar la integridad física y la salud de todo el personal de la empresa.

## **ABSTRACT**

The manufacture of modular furniture in the company Ambiente Modular is a work that is made using machines for cutting wood. These machines have a manual system to move the saws vertically and give the height with which you want to work. The guides are responsible for setting size board for the cut. The main technical objective of this technical project is to automate the displacement of the cutting guide, which was made based on a system of gears and racks, those are coupled to two stepper motors, which improve, the precision of the machine. The holding of the boards is with pneumatic holding devices which are placed in the moving part of the table, avoiding problems of knocking or abrupt return of the boards. The system also has a control panel, whose main function is to enter and operate the cut by the operator, monitor the measurement and also display information such as the activation of preventive alarms, among others. The machine has been equipped with a safety system which focuses on controlling the return of the cutting guide and the deactivation of the motor to preserve the physical integrity and health of all the company's personnel.

## INTRODUCCIÓN

La Empresa Ambiente Modular ha trabajado en la industria del mueble desde 1993, en la fabricación de diferentes tipos de modulares para: cocinas, closets, baños, estudios y puertas de paso. Han tenido un crecimiento importante dentro del mercado laboral ya que sus diferentes diseños otorgan satisfacción y confort a sus usuarios. El proyecto de titulación denominado Desarrollo de un sistema semi-automático de sujeción para corte longitudinal de aglomerado en una sierra circular de mesa, está estructurado en cinco capítulos, de la siguiente manera: El capítulo uno describe el objetivo general, objetivos específicos y la justificación del trabajo.

El capítulo dos desarrolla el marco teórico del presente proyecto, donde se detalla como primer punto el taller Ambiente Modular, y las máquinas que ayudan a la creación de los diferentes tipos de muebles. Posteriormente se especifica todos los elementos utilizados para la creación del sistema semi-automático en la sierra circular de mesa. En el capítulo tres se caracteriza el sistema manual de corte de tableros de aglomerado para identificar el proceso y variables a utilizar. Posteriormente se diseña el panel de control junto con el sistema de seguridad que evitar riesgos de operación de la máquina. Además, se presenta una descripción de la programación de la tarjeta Arduino detallada a través de diagramas de flujo.

Finalmente, el quinto capítulo detalla el funcionamiento del sistema mediante pruebas y resultados que comprueban la precisión de la máquina. Se concluye que de acuerdo con las pruebas y tablas realizadas el desarrollo del sistema es efectivo.

# **CAPÍTULO 1**

## **ANTECEDENTES**

### **1.1 Planteamiento del problema**

En la empresa “Ambiente Modular” se lleva a cabo el proceso de cortes de los tableros para la fabricación de los modulares de closets, baños, cocinas, etc. En este proceso, muchas veces se producen errores de apreciación de los trabajadores, debido a que la visión de los mismos sufre una disminución de su rendimiento ante periodos prolongados de tiempo de trabajo. Debido a esto, el operario tiene un criterio erróneo al momento de verificar las medidas, ocasionando un corte innecesario y reduciendo los tiempos de producción de los módulos.

Además, la sierra no cuenta con un sistema de encendido/apagado adecuado, la protección eléctrica es insuficiente; esto se refleja en la inexistencia de un paro de emergencia o una protección contra descargas. De acuerdo a estas implicaciones se vio afectada la integridad física de uno de los operarios.

### **1.2 Justificación del proyecto**

Los seres humanos, a menudo no pueden cumplir con los requisitos de la industria moderna respecto a la demanda de producción, tiempo y reducción de pérdidas.

Por lo general el trabajo de medir y marcar los cortes de un tablero llega a ser muy repetitivos y tediosos para el operador. Un sistema semi-automático, por el contrario, llevaría a cabo las mediciones y cortes con una precisión constante y a un ritmo que es establecido por el propio proceso de producción en el taller “Ambiente Modular”. Con este sistema semi-automático, se mejorará la calidad y el tiempo de ejecución de los modulares, reduciendo pérdida de material por errores de apreciación del operador.

La tecnología del medio local ayudará a desarrollar e implementar dicho sistema, y se adecuará el mismo con niveles de seguridad que permita salvaguardar a los trabajadores.

### **1.3 Objetivos**

#### **1.3.1 Objetivo General**

Desarrollar un sistema semi-automático para controlar el posicionamiento del aglomerado al momento de realizar el corte longitudinal en la sierra circular de mesa para la empresa Ambiente Modular.

#### **1.3.2 Objetivos Específicos**

- Caracterizar el sistema manual de corte de tableros de aglomerado para identificar el proceso y variables a utilizar.
- Diseñar un panel de control el cual permita al operario introducir la dimensión de corte de los tableros
- Implementar el sistema semi-automático de control de dimensión de corte de aglomerado en la sierra circular de mesa con una longitud máxima de 40 cm y precisión de mm.
- Implementar un sistema de seguridad para evitar riesgos de operación de la máquina.
- Verificar el funcionamiento del sistema mediante pruebas y resultados para comprobar la precisión de corte de la máquina.

## **CAPÍTULO 2**

### **MARCO CONCEPTUAL**

El presente capítulo se enfoca en la descripción teórica de los componentes utilizados y de los métodos de control que se llevaron a cabo para el desarrollo del sistema semiautomático de sujeción y corte.

#### **2.1 Empresa Ambiente Modular**

La Empresa Ambiente Modular es una empresa ubicada en el barrio Corazón de Jesús, sector Carcelén, donde se lleva a cabo el diseño y construcción de muebles modulares para cocinas, closets, baños, estudios y puertas de paso. Este taller brinda al cliente diseños exclusivos y diferentes clases de muebles para decorar espacios acogedores y cómodos. Son distribuidores autorizados de productos como TEKA, CHALLENGER, E-B TÉCNICA, ART-DECO. (Ambiente Modular, 1993)

#### **2.2 Máquinas cortadoras de Madera**

La industria del Mueble y la Madera se ha ido desarrollando y acrecentando debido a la gran demanda de construcciones de inmuebles. La necesidad de modernizar los procesos de fabricación de muebles de los artesanos en la carpintería y de mejorar su ambiente de trabajo y producción, han generado varios trabajos de investigación para la automatización de estas industrias. (Farinango & Yépez, 2007)

Es necesario conocer ciertos detalles de las máquinas cortadoras de madera como: modelos o tipos, prestaciones adicionales que pueden mejorar el estilo de trabajo de los operadores, el material con el que está construida, sistemas de seguridad, entre otros. (Farinango & Yépez, 2007)

##### **2.2.1 Sierra de mano**

Las sierras circulares manuales son herramientas que permiten efectuar cortes rectos y rápidos. Están equipadas con un motor eléctrico cuya potencia puede ir desde los 500 a los 1400 W, llegando a alcanzar velocidades de más de 4500 revoluciones por minuto. Permiten realizar cortes de hasta 75 mm de espesor en diferentes tipos de materiales, de los cuales el más común es la madera. Además, están equipadas con



un interruptor de bloqueo o seguro que evita que la herramienta sea accionada por accidente. (De Máquinas y Herramientas , 2010)

### **2.2.2 Sierra de mesa o de banco**

Estas herramientas de carpintería utilizan el mismo principio que las grandes sierras de aserradero, la maquinaria permanece fija y el operario es quien debe acercar la madera al filo para efectuar el corte. El disco dentado sobresale por encima de la superficie de la mesa de trabajo, la cual sirve de apoyo y guía para el material. Algunos modelos cuentan con soportes móviles que permiten regular la profundidad o el ángulo de corte de la madera. Estas máquinas por lo general se utilizan para lograr cortes rápidos en piezas grandes. (De Máquinas y Herramientas , 2010)

### **2.2.3 Sierra Ingletadora o de inglete**

Las sierras de inglete o ingletadoras se emplean para realizar cortes transversales de manera rápida y precisa. Se emplean para seccionar listones o piezas largas en múltiples trozos más pequeños como por ejemplo, molduras y rodapiés. Se puede regular el ángulo alrededor de un eje perpendicular al plano de corte de  $-45^\circ$  a  $45^\circ$ . Algunas máquinas disponen de puntero láser y otras incluyen una mesa superior para ser usadas también como sierras de banco. (De Máquinas y Herramientas , 2010)

### **2.2.4 Sierra de panel**

En este caso, la sierra está montada sobre una estructura con rieles que permite controlar el movimiento de la misma. Algunos modelos mecanizados, permiten controlar el movimiento de la maquinaria por medio un programa informático, asegurando cortes precisos. Las sierras de panel, dependiendo de su diseño, pueden ser horizontales o verticales. En la Figura 2.1. Se muestran los diferentes tipos de sierras detalladas. (De Máquinas y Herramientas , 2010)

Figura 2. 1. Tipos de Sierras Comerciales

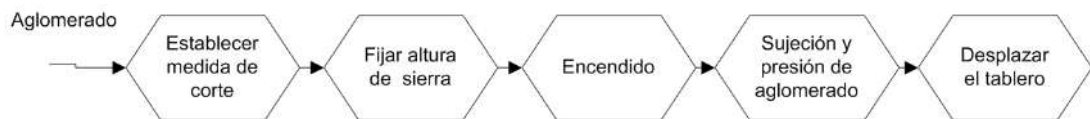


a)De Mano, b)Ingletadora, c)De mesa, d)De Panel. Fuente:(De Máquinas y Herramientas , 2010)

### 2.3 Proceso de Corte de Aglomerado

Empieza con la elección del tablero de aglomerado a ser cortado, el trabajador revisa el grosor y dimensiones del tablero, y también realiza la medición de la distancia de corte señalando con un lápiz la proyección de corte sobre el mismo. Además, revisa que la altura de la sierra respecto a la mesa de trabajo sea la necesaria para que los dientes del disco superen el grosor del tablero. La máquina posee como único control de encendido/apagado de la sierra un breaker que secciona la conexión entre el motor y energía eléctrica. Par realizar un corte, el trabajador enciende el motor de la sierra, sujeta el tablero y ejerce presión sobre el mismo contra la mesa de trabajo. Una vez fijado el aglomerado el trabajador procede a desplazarlo manualmente a través de la sierra. Diariamente se cortan aproximadamente 50 tableros de aglomerado en el taller. La Figura 2.2. Refleja este proceso. (Rodriguez, 2017)

Figura 2. 2. Proceso de corte



Etapas de corte tableros de aglomerado. Elaborado por: Jonathan Alvear y Leonardo Llumiquinga.

### 2.4 Sistema semi-automático

Es un sistema operado de forma manual con algunos procesos vitales automatizados de una máquina. Está conformado por controladores y actuadores. El funcionamiento del sistema dependerá de los parámetros fijados por el operador y de los sensores que entregan información sobre la operación. Todo este proceso se realiza según la lógica de trabajo programada, la misma que acciona los actuadores en un orden predeterminado. (Alvarez Brotons, 2004)

### 2.5 Sierra Circular

La sierra circular es utilizada usualmente en el corte de tableros. Es una máquina ligera y básica que está fijada a un eje de transmisión y un motor. Trabaja en conjunto con una mesa fija en una abertura en el tablero que permite el paso de dicho disco de sierra. Usualmente la fijación de la sierra circular es regulable en sentido vertical debido al diferente grosor de los tableros. (Benavides Delgado, 1984)

## 2.6 Sistemas de Transmisión de movimiento

Un mecanismo transforma el movimiento producido por un elemento motriz en un movimiento deseado de salida llamado elemento encaminado. Existen dos tipos de mecanismos de transmisión de movimiento lineal y circular. En el primero, el elemento de entrada y el de salida tienen movimiento lineal; en el segundo, el elemento de entrada y el de salida tienen movimiento circular. (Villalba H. , 2008)

### 2.6.1 Piñón y Cremallera

Utiliza un eje fijo ya sea el piñón o la cremallera para convertir un movimiento angular en lineal o viceversa respectivamente. Una cremallera equivale a un piñón de diámetro infinito. Existen dos normas internacionales a las que se rigen la elaboración de engranajes: ANSI Metric y ANSI INCH. Estas se diferencian en la unidad de medida, diferentes parámetros y ecuaciones de cálculo que se utilizan para su fabricación. ANSI Metric utiliza un parámetro denominado Módulo y se rige en milímetros, en cambio, ANSI Inch utiliza “Paso Diametral” como su principal parámetro. Las principales partes de un piñón son: Círculo de paso, círculo de Addendum, número de dientes, espesor de diente, ancho de cara, paso diametral. (Junivall, 2013)

### 2.6.2 Rodamiento Lineal

Un pasador lineal es un elemento de fijación mecánica desmontable, de forma cilíndrica o cónica, cuyos extremos pueden variar en función de la aplicación. Se emplean para la fijación de varias piezas a través de un orificio común, impidiendo un movimiento con fricción entre ellas. El empleo de estos sistemas de fijación es de gran uso en máquinas industriales y productos comerciales. (Meriam & Kraige, 2004)

Figura 2. 3. Mecanismo Rodamiento Lineal



Desplazamiento Lineal Rodamiento y pasador. Fuente: (Meriam & Kraige, 2004)

Las funciones principales de los pasadores lineales son la de conectar barras articuladas, como fue en el caso del sistema de transmisión de movimiento de la sierra circular de mesa. Además, garantiza la posición adecuada entre las piezas y transmite un momento de torsión, evitando a la vez el desplazamiento axial de las partes. (Meriam & Kraige, 2004)

## **2.7 Sistema de Sujeción al Vacío**

DIN 28400 señala que "Un vacío se produce cuando la presión de un gas es menor que la presión atmosférica". La reducción de la presión de gas en el envase produce una diferencia de presión entre el espacio evacuado debajo de una pieza y la presión atmosférica natural sobre esta. La fuerza de sujeción se crea debido a que la presión de aire natural presiona la pieza de trabajo de manera uniforme en toda su superficie sobre la placa de sujeción. (Sons, 2008)

## **2.8 Motor de avance paso a paso**

Es un convertidor electromecánico, que transforma energía eléctrica en mecánica. El motor paso a paso está diseñado para girar un determinado ángulo por cada pulso eléctrico que envía su controlador a cada bobina que lo conforma. En el mercado existen paso de  $0.9^\circ$  o  $1.8^\circ$  por pulso. (Chapman, 2012)

### **2.8.1 Motor a pasos Unipolar**

En esta configuración cada una de las dos bobinas que conforman las terminales Fase 1 con Fase 2 y Fase 3 con Fase 4 son excitadas independientemente. De tal forma que al magnetizar el polo Phase 1 como Sur energizamos la terminal y se interrumpe la conexión en Phase 2. Al contrario, ocurre si se desea un Norte en el Polo 1 se energiza Phase 2 y desconecta Phase 1. Este tipo de conexión se denomina 4 fases-unipolar. En esta forma de conexión solo una bobina se activa cada vez, con lo que las pérdidas en forma de calor disminuyen. (MCBtec, 2008)

Como se observa en la Figura 2.4. La columna Full Step representa la secuencia para que el motor en el caso de  $1.8^\circ$  se mueva a 200 pasos por revolución. En tanto que la columna Half Step duplica el número de pasos por vuelta, pasando de 200 a 400 pasos por revolución. El modo Half Step reduce problemas de ruido al disminuir el paso, pero también disminuye el par del motor debido a que algunas de las bobinas

están desactivadas en algunos pasos de la secuencia. Sin embargo, la resolución de cada paso aumenta siendo de  $0.9^\circ$ . (MCBtec, 2008)

Figura 2. 4. Diagrama de Motor a pasos Unipolar

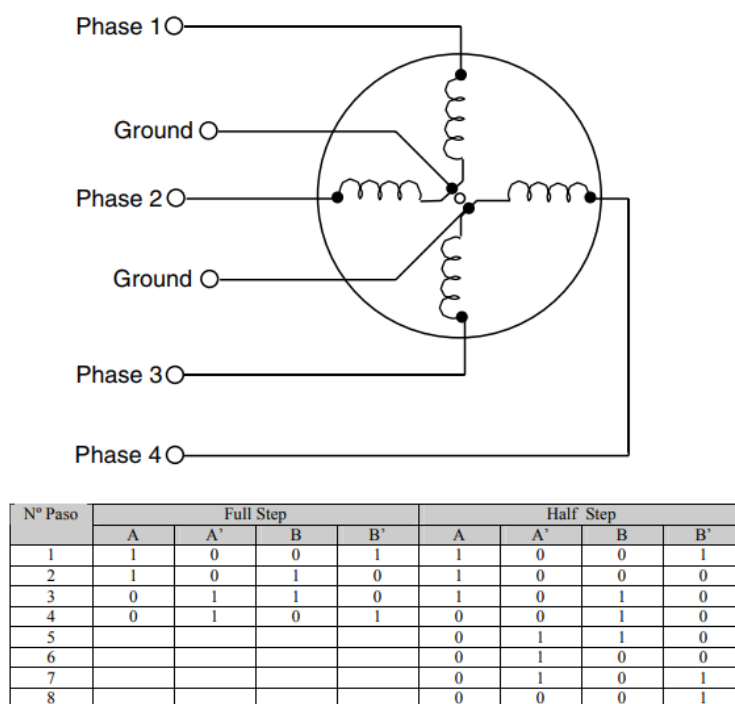


Diagrama de cableado de motor unipolar, Secuencia de activación de bobinas Paso Doble y Medio paso. Fuente: (MCBtec, 2008)

## 2.9 Arduino

Es una plataforma libre dedicada a la electrónica en hardware y software cómodo de usar. La tarjeta Arduino está controlada por un microcontrolador de forma que se puede programar sus periféricos de entradas para leer sensores y sus salidas para manipular actuadores. Esto último, brinda la posibilidad de ejercer control de procesos en tiempo real. (Arduino Foundation, 2017)

### 2.9.1 Características de Arduino Mega 2560

También es es una plataforma libre dedicada a la electrónica. Entre sus funciones principales se pueden mencionar el manejo de salidas booleanas, lectura de sensores análogos, control de procesos secuenciales e interrupciones. Su velocidad de procesamiento, cantidad de puertos digitales y salidas PWM incluyendo 6 puertos

que pueden utilizarse para instrucción de interrupción. En la Tabla 2.1. Se detallan datos del fabricante. (Arduino Foundation, 2010)

Tabla 2. 1. Especificaciones Técnicas Arduino Mega

Microcontrolador	ATmega2560
Alimentación	7-12v DC
Pines Digitales I/O	54
Pines PWM	15
Pines Análogos	16
Corriente de salida	20mA

Especificaciones técnicas Arduino Mega, Fuente: (Arduino Foundation, 2010)

### 2.9.2 Ventajas, Desventajas de Arduino

Entre las ventajas que se pueden mencionar de Arduino están el número de puertos que pueden utilizarse como salidas/entradas para controlar mayor número de actuadores y sensores. También está la facilidad de programar el microcontrolador ATmel con software libre lo cual reduce su costo. Lo dicho anteriormente se consideran ventajas en comparación a otro tipo de controlador como PLC, FPGA. (Arduino Foundation, 2017)

En cambio, debido a su constitución de Pines a 5 V y 20 mA no es apta para trabajar en ambientes industriales directamente. Necesita de varias etapas de potencia para controlar actuadores de mayor robustez. Así también, los equipos industriales que utilizan protocolos industriales para comunicarse entre sí son generalmente compatibles únicamente con equipos de sus mismos fabricantes. Finalmente, su ubicación dentro del área industrial necesita mayor cuidado debido a la presencia de polvo y humedad que podrían afectar su funcionamiento. (Arduino Foundation, 2017)

### 2.10 Sistemas de control

El control automático se ha convertido en una parte elemental de los procesos modernos industriales y de manufactura. Su función principal es controlar el comportamiento dinámico de la salida de un sistema. (Ogata, 2010)

### **2.10.1 Lazo Abierto**

Los sistemas en los cuales la entrada de datos o señal de referencia no se realimenta en base al producto final se denomina sistemas de control en lazo abierto. Básicamente la salida del sistema en lazo abierto no es medida ni se realimenta para compararla con la referencia. Los sistemas que poseen una operación fija y repetitiva en el cual las perturbaciones externas son mínimas poseen un control lazo abierto. En consecuencia, la precisión del sistema depende de la calibración. En la práctica, el control en lazo abierto sólo se usa si se conoce la relación entre la entrada y la salida. (Ogata, 2010)

### **2.10.2 Lazo Cerrado**

Es un sistema que mantiene una relación entre el producto de salida y la entrada de referencia, comparándolas y usando el contraste como medio de control. Por ejemplo, en una máquina CNC se coloca un sensor para medir la distancia en un eje, lo cual realimenta el sistema de posicionamiento y brinda mayor precisión. Se debe prestar especial atención a la estabilidad del sistema y ajuste necesario del método de control para que el sistema no presente problemas. Un sistema en lazo cerrado es más costoso que uno en lazo abierto, aun así, para procesos de manufactura industrial donde influyen perturbaciones externas se necesita de un sistema de control robusto para cumplir el estándar de producción. (Ogata, 2010)

### CAPÍTULO 3

#### DESARROLLO DEL SISTEMA SEMI-AUTOMÁTICO

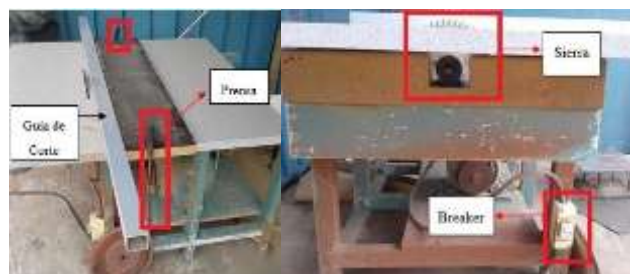
En el presente capítulo se detalla los temas más relevantes sobre el diseño y el desarrollo del sistema semi-automático de sujeción y corte de los tableros de aglomerado para la empresa “Ambiente Modular”. En la primera sección se expone el mecanismo de corte manual que utilizaba la empresa para realizar cortes en madera, este proceso se realizó para definir las variables a utilizar en el desarrollo del presente trabajo.

A continuación, se muestra la arquitectura del sistema que se propone como solución en este trabajo al problema presentado en la sección 1.1. Se detallan los elementos que conforman el mismo, es decir, se expone el diseño del panel de control, el sistema de sujeción, sistema de posicionamiento y de seguridad. Para finalizar, se especifica la lógica de cada proceso y subproceso que permiten el funcionamiento de la máquina semi-automática de corte.

#### 3.1 Operación de la máquina cortadora de forma manual

Las operaciones de cortar y escuadrar se lo realizaban artesanalmente, es decir colocando un pedazo de madera con prensas como guía de corte, véase Figura 3.1. Con este proceso se evidenciaba riesgos como: el contacto manual con la herramienta de corte, el efecto de retroceso y la posibilidad de sufrir una descarga eléctrica debido al recalentamiento de los cables que habían sobrepasado su vida útil.

Figura 3. 1. Máquina Manual



Prensas, guía de corte manual, accionamiento de sierra. Elaborado por: Julio Llumiquinga, Jonathan Alvear



La producción era limitada y la calidad de corte muchas veces no era la adecuada para darle un acabado fino a los tableros de aglomerado. Además, la sierra circular de mesa solo podía realizar la operación de cortar, si deseaban escuadrar, era necesario usar las prensas mecánicas para colocar perpendicularmente la guía de corte, por esta razón, invertían mucho tiempo en el cambio de operación. Con el nuevo sistema de sujeción por vacío, se elimina por completo dicha operación mecánica, facilitando el trabajo a los operadores.

### 3.2 Caracterización del sistema manual de corte

La empresa Ambiente Modular ubicada en el sector de Carcelén consta de siete máquinas que sirven para la fabricación de los muebles modulares. Cada una cumple un rol específico en la empresa. Entre estas se encuentra la Sierra de banco, la cual se procederá a caracterizar para encontrar los procesos y variables a utilizar en la implementación del sistema semi-automático de corte y sujeción. En las siguientes secciones se presenta una breve descripción de cada uno de los elementos que componen el sistema manual de corte.

Figura 3. 2. Máquina Manual de corte



A) Vista Isométrica B) Vista Lateral. Elaborado por: Julio Llumiyinga, Jonathan Alvear

### 3.2.1 Motor monofásico Brook Motors 2HP

El motor monofásico Brook Motors tiene un condensador conectado en serie entre el devanado principal o de trabajo y el devanado auxiliar o de arranque. En esta conexión, el condensador actúa retrasando la circulación de corriente en el devanado auxiliar. Una vez arrancado el motor, el condensador y el devanado auxiliar continúan funcionando.

Figura 3. 3. Motor de Sierra


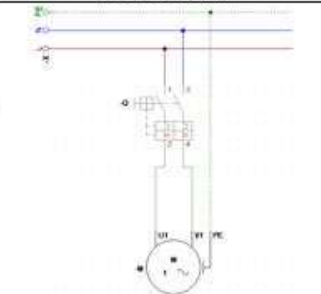

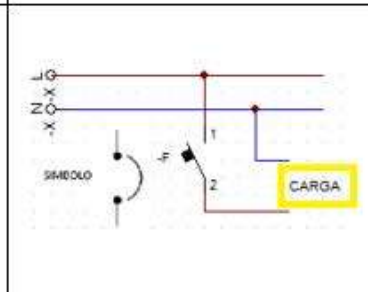

UBICACIÓN	DIAGRAMA DE CONEXIÓN	IMAGEN DEL ELEMENTO
		

Diagrama de ubicación y diagrama eléctrico. Elaborado por: Julio Llumiquinga, Jonathan Alvear

### 3.2.2 Breaker Schneider C60N

El breaker Schneider C60N es un interruptor automático en miniatura, de dos polos que soporta una corriente nominal de 20 A a 30°C, cuando la corriente eléctrica que circula por este excede dicho valor, se dispara o se activa, con el objetivo de evitar daños a los equipos eléctricos.

Figura 3. 4. Breaker C60N

UBICACIÓN	DIAGRAMA DE CONEXIÓN	IMAGEN DEL ELEMENTO
		

Modo de accionamiento de la sierra por: Julio Llumiquinga, Jonathan Alvear

### 3.2.3 Seguro manual

El seguro manual de la sierra circular de mesa, permite bloquear la extracción del disco dentado, y evitar que se retire o se mueva toda la mesa de apoyo en la cual se colocan los tableros de aglomerado para la realización de los cortes.

Figura 3. 5. Método de Fijación de Corte

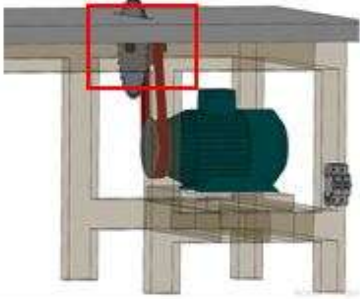



Fijación de Altura de Sierra Elaborado por: Julio Llumiquinga, Jonathan Alvear

### 3.2.4 Polea Mandril-Motor

El mandril es la parte primordial para la ubicación del disco o de la sierra. Es importante tomar en cuenta la alineación de las poleas con el mandril y el motor, es decir, se debe tener cuidado de que los ejes estén paralelos y que la ubicación de estos facilite la instalación y mantenimiento del disco. Los rodamientos del mandril deben estar ajustados para evitar vibraciones sobre el disco. La correa debe estar siempre tensa y alineada con la polea del motor y el mandril.

Figura 3. 6. Acoplamiento mecánico Sierra-Motor

UBICACIÓN	IMAGEN DEL ELEMENTO
	

Transmisión de Movimiento. Elaborado por: Julio Llumiquinga, Jonathan Alvear

### 3.2.5 Relación de velocidades sistema de poleas con correa

La transmisión de movimiento entre dos ejes mediante poleas, sirve para mantener la misma relación de velocidad, disminuirla o aumentarla, dependiendo del uso que se quiera aplicar. Para una sierra circular de mesa es esencial que la velocidad de corte este sobre las 3000 rpm. El sistema se divide en tres partes principales: la polea motriz, la polea conducida y la correa como se observa en la Figura 3.7.

Figura 3. 7. Relación de Transmisión de movimiento

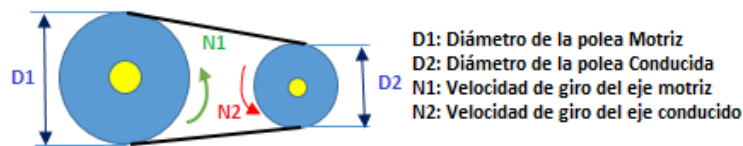


Diagrama de transmisión de movimiento. Fuente:(Granda, 2013)

### 3.3 Arquitectura del Sistema Propuesto

El sistema de sierra circular de mesa conformado por hardware y software se ha diseñado para cumplir dos instrucciones indispensables, posicionamiento de guía de corte y sujeción del tablero. El sistema está controlado por el tablero de control que contiene teclado, LCD y pulsadores; es el medio por el cual se ingresa la información de dimensión de corte, esta arquitectura se puede observar en la Figura 3.8. Además, se colocaron luces indicadoras que representan el estado del proceso, luz verde si todo funciona bien y luz roja si hay algún problema.

El controlador utilizado es la tarjeta Arduino en conjunto de sistemas de potencia que se encarga de procesar la información del sensor de distancia y procede con el accionamiento de los motores a paso. Cada proceso esta supervisado por el panel de control que muestra mensajes en la LCD correspondientes a la finalización de cada etapa. Se dispone de un botón de "paro" que permite borrar y reiniciar el ingreso de datos. Así también el interruptor de paro de emergencia que interrumpirá cualquier proceso que se esté ejecutando en cualquier momento.

Figura 3.8. Sistema Semi-Automático

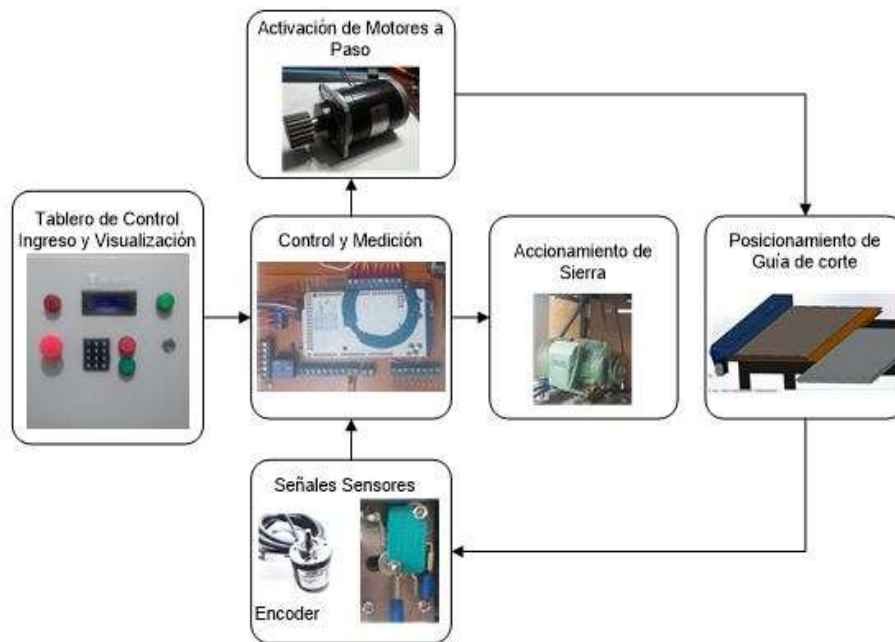


Diagrama de bloques que conforman el Sistema, Elaborado por: Julio Llumiquinga, Jonathan Alvear

El proceso de corte controla el posicionamiento de guía de corte que avanza de acuerdo al valor ingresado por el operador en el tablero de control y el valor entregado por el encoder. Esta operación se ejecutará cuando cumpla los siguientes requisitos: ingreso de medida de corte en milímetros, confirmación y parámetros de seguridad. Una vez posicionada la guía, el operador deberá colocar el tablero en la parte móvil de la mesa. A continuación, la sierra circular se activará y el operador deberá desplazar la parte móvil de la mesa a través de la sierra circular realizando el corte del Aglomerado.

El proceso de escuadrar permite cortar el tablero de modo que sus caras formen ángulos rectos entre sí. Controla el sistema de sujeción al vacío, el operador debe colocar la pieza de aglomerado sobre la mesa al vacío observando que ésta sea cubierta totalmente por la superficie del tablero a ser escuadrado. Con el Aglomerado en posición se activa la electroválvula permitiendo el paso de aire hacia la mesa obteniendo una fijación firme del tablero.

### 3.4 Tablero de Control

La disposición del tablero de control es próxima a la mesa de sierra circular para mayor accesibilidad para el ingreso de datos de corte y posibles emergencias que puedan ocurrir. Brinda detalles del avance de proceso de corte de aglomerado y controla los procesos de corte, posición, sujeción, encendido de sierra y emergencia.

El gabinete aísla a las tarjetas electrónicas del ambiente rústico de trabajo. Está sellado parcialmente para evitar que polvo o viruta producto del corte de aglomerado ingrese. La disposición de los elementos dentro del compartimiento cumple con criterios de diseño que permiten su funcionamiento una vez energizado. La construcción del panel de control garantiza la seguridad de los operarios debido a que el material del gabinete no proporciona conductividad eléctrica evitando posibles descargas. El panel de control aloja únicamente elementos de control y no dispositivos de potencia para disminuir la afectación que pueda sufrir el sistema debido a ruido electromagnético.

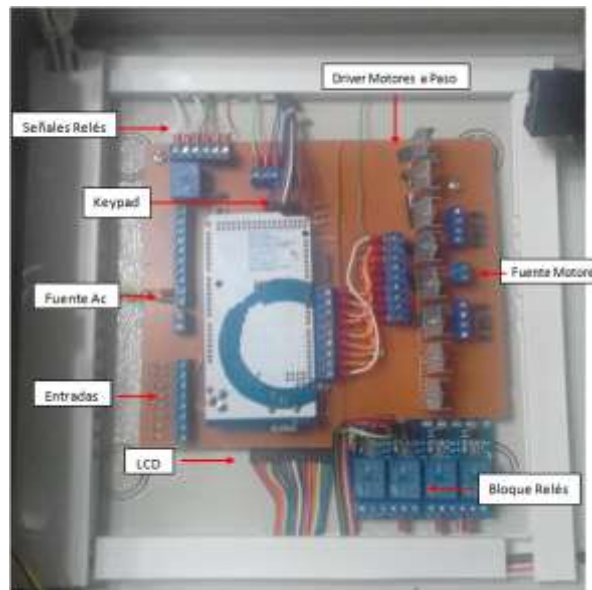
Figura 3. 9. Panel de Control



Vista Exterior del Panel de Control, Elaborado por: Julio Llumiquinga, Jonathan Alvear.

En la Figura 3.10 se muestra la parte interna del panel y sus conexiones. Los cables de datos que la enlazan la LCD con el Arduino deben ser blindados debido a que este dispositivo es el más sensible a interferencias. Además, se puede observar el controlador en conjunto con relés, MOSFET para el acoplamiento de circuito de potencia para controlar el motor a pasos.

Figura 3. 10. Panel de control Vista Interna



Vista Interior del Panel de Control, Elaborado por: Julio Llumiquinga, Jonathan Alvear

### 3.4.1 Controlador

El controlador utilizado es Arduino MEGA 2560 debido al número de entradas y salidas digitales y análogas que posee. Debido a la capacidad eléctrica de sus puertos es necesario acoplar un circuito de potencia para manipular los actuadores como motores a paso, luces indicadoras y relé de contactor. El diseño de la tarjeta de control está basado en los requerimientos eléctricos de los dispositivos a ser conectados. En el Anexo A se detalla el diagrama esquemático de las conexiones de los distintos dispositivos que son parte del sistema de control. El software Proteus permitió el desarrollo de la placa que acopla a la tarjeta Arduino. La ubicación de puertos de conexión para los periféricos de entrada y salida en la placa se definieron de tal manera que facilite la fabricación de enlaces de señales de control y alimentación en la etapa de diseño e implementación.

En la Tabla 3.1 se detalla las conexiones de elementos que conforman el panel. Para conexión de actuadores únicamente representa las señales que se envían a los respectivos controladores.



Tabla 3. 1. Detalle Conexión Arduino

Función	Pines	Detalle	Función	Pines	Detalle
Control Motor a PASO A	4	A	LCD	30	D5
	5	B	LCD	32	D6
	6	C	Keypad	33	B
	7	D	LCD	34	D7
Control Motor a PASO B	8	A	Keypad	35	C
	9	B	Entrada	36	Fin de Carrera
	10	C	Keypad	37	D
	11	D	Entrada	38	Fin de Carrera
Pines Interrupción	18	Encoder A	Botón Verde	41	Botón Start
	19	Encoder B	Entrada	40	Fin de Carrera
	20	Paro Emergencia	Botón ROJO	39	Botón Borrar
LCD	24	RS	Salida	45	Luz verde
Keypad	25	1	Salida	47	Paro Contactor
LCD	26	Enable	Entrada	48	Fin de carrera
Keypad	27	2	Salida	49	Relé de Contactor
LCD	28	D4	Salida	51	Electroválvula
Keypad	29	3	Salida	53	Luz Roja

Detalle de puertos utilizados del controlador Arduino Mega, Elaborado por: Julio Llumiquinga, Jonathan Alvear

### 3.4.2 Controlador de Motores a Paso

Los circuitos expuestos en este subtema fueron implementados en conjunto con la tarjeta electrónica de control para trabajar a niveles de voltaje y corriente requeridos por los elementos eléctricos del sistema-semiautomático. En la Figura 3.11 se observa el MOSFET implementado para controlar los pulsos de activación de los motores a paso.

Figura 3. 11. Driver Motores a pasos



Placa de control de Motor a Paso. Elaborado por: Jonathan Alvear y Julio Llumiquinga



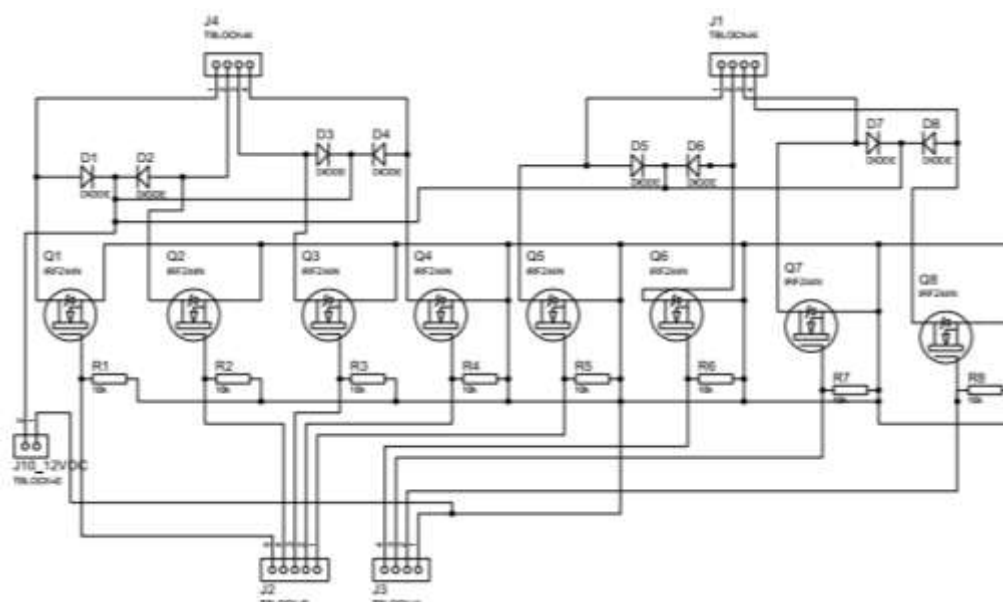
Tabla 3. 2. Características MOSFET

Modelo	IRFZ44N	IRF 540N
ID máx.	49 A	33 A
Vdss	55 V	100 V
VGS(th)	2 a 4 V	2 a 4 V

Características Mosfet IRFZ44N e IRF 540N. Fuente: (International Rectifier, 2006)

El driver está conformado por ocho MOSFET para controlar dos motores a paso unipolares que poseen cuatro terminales A, B, C y D cada uno correspondientes a su par de bobinas. Se utilizaron los dispositivos IRF Z44N e IRF 540N debido a sus propiedades electrónicas para evitar sobrecalentamiento y posibles averías al momento de trabajar con el nivel de corriente provocado por el accionamiento de los motores a paso. Además, se utilizaron cuatro diodos de protección por motor para evitar el retorno de corriente durante el encendido y apagado de las bobinas de cada motor, las conexiones de estos dispositivos se reflejan en la Figura 3. 12. El desarrollo de la placa de control de motores se detalla en el Anexo A.

Figura 3. 12. Diagrama Esquemático de Control de Motores a Pasos



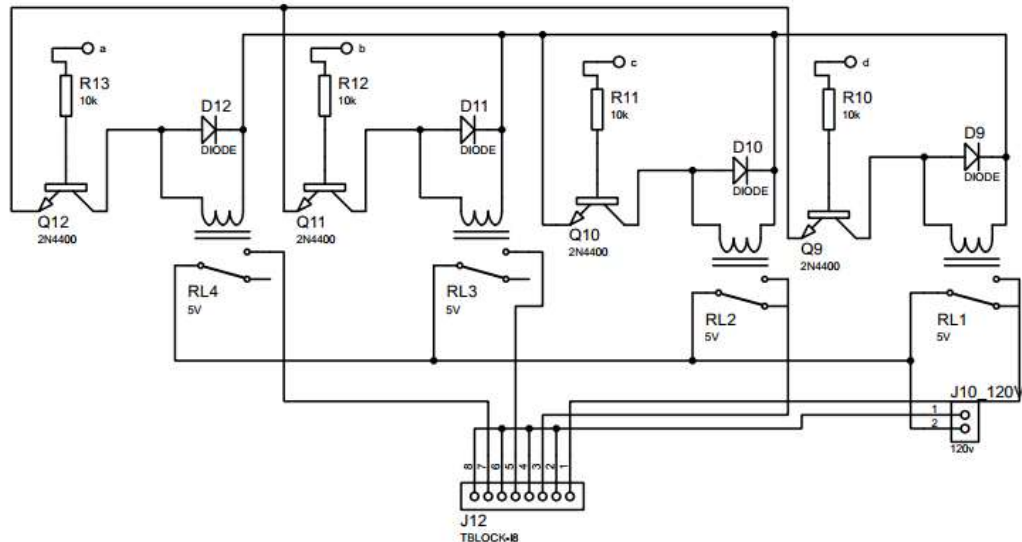
Arreglo de MOSFET IRFZ44N, Elaborado por: Julio Llumiquire, Jonathan Alvear

### 3.4.3 Bloque de acople Relés

En la Figura 3.13 se observa cuatro relés que corresponden a la activación de luz indicadora roja y verde, relé de contacto de encendido de motor, relé de contacto de

paro de emergencia. El relé al recibir una señal de 5 V actúa como un interruptor permitiendo operar dispositivos que requieran 110 Vac.

Figura 3. 13. Diagrama Esquemático de Relés

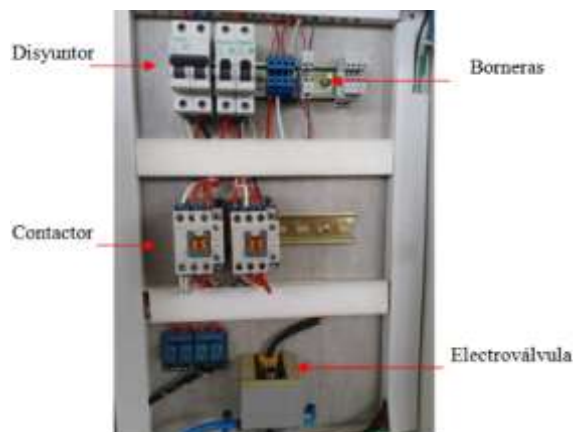


Relés para activación de actuadores ON/OFF, Elaborado por: Julio Llumiquinga, Jonathan Alvear

### 3.5 Tablero Eléctrico

Este gabinete se encarga de distribuir la energía para el tablero de control y el funcionamiento de actuadores. Se han colocado elementos de protección, distribución y control: disyuntores, borneras, contactores respectivamente. Las señales provenientes de los relés controlan el accionamiento de cada contactor correspondiente al motor de sierra y paro de emergencia, Véase figura 3.14.





Figura 3. 14. Tablero Eléctrico



Elementos eléctricos para manipulación de actuadores, Elaborado por: Julio Llumiquinga, Jonathan Alvear

Los valores utilizados de disyuntores se fijaron en base a la corriente que necesita el sistema para funcionar. La línea de alimentación bifásica es utilizada únicamente para el accionamiento del motor de sierra que trabaja a 220 V y 12 A. El disyuntor bipolar secciona la conexión otorgando una protección magneto térmica al circuito de operación en caso de existir una sobredemanda de corriente por parte del motor. El contactor permite el control del motor bifásico, es un dispositivo electromagnético, su accionamiento depende de la señal del controlador Arduino. Se utilizan dos contactores para la operación de accionamiento y paro de motor por inyección de corriente directa.

Tabla 3. 3. Características de elementos tablero eléctrico

Elemento	Detalle	Gráfico
Disyuntor Bipolar	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Producto: EZ9F56220 Schneider</li> <li>- Protección magneto-térmica de circuitos.</li> <li>- Dos polos 220 [v]</li> <li>- Corriente 20 [A]</li> </ul>	
Disyuntor Unipolar	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Producto: EZ9F56120 Schneider</li> <li>- Protección magneto-térmica de circuitos.</li> <li>- Una Fase 110 [v]</li> <li>- Corriente 20 [A]</li> </ul>	
Contactor	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Producto: MC-22b Altech Corp</li> <li>- Número de polos 3, 2HP</li> <li>- Bobina de activación 110 [v]</li> <li>- Corriente 2 [A]</li> </ul>	
Electroválvula	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Producto: WAIRCOM</li> <li>- Presión de trabajo 5 a 10 [bar]</li> <li>- Accionamiento 110v</li> <li>- Válvula 3/2 vía N.O</li> </ul>	

Elementos eléctricos para manipulación de actuadores, Fuente: (Schneider Electric, 2017) (Altech Corp., 2014) (Waircom, 2010)

La línea monofásica alimenta al sistema semi-automático como por ejemplo: electroválvula, panel de control, fuente de driver de motores a paso, operación de paro de emergencia, fuente de alimentación de tarjeta Arduino, luces piloto y bobina de contactor.

En la Figura 3.15 se muestra el diagrama esquemático de fuerza que se utiliza para la activación del motor de sierra. El accionamiento depende de los parámetros fijados en las operaciones cortar y escuadrar. La señal proveniente del controlador activa el relé correspondiente dando como resultado la activación del contactor K1, el contactor permite o bloquea el paso de 220 Vac. El contactor K2 controla la activación del circuito de paro de emergencia por inyección de corriente directa. La fuente utilizada de voltaje DC tiene valores de 24 Vdc y 20 A. La activación de K2 tiene un tiempo de límite de operación ya que la inyección de voltaje directo puede afectar el bobinado del motor.

Figura 3. 15. Diagrama de Fuerza de Motor de Sierra

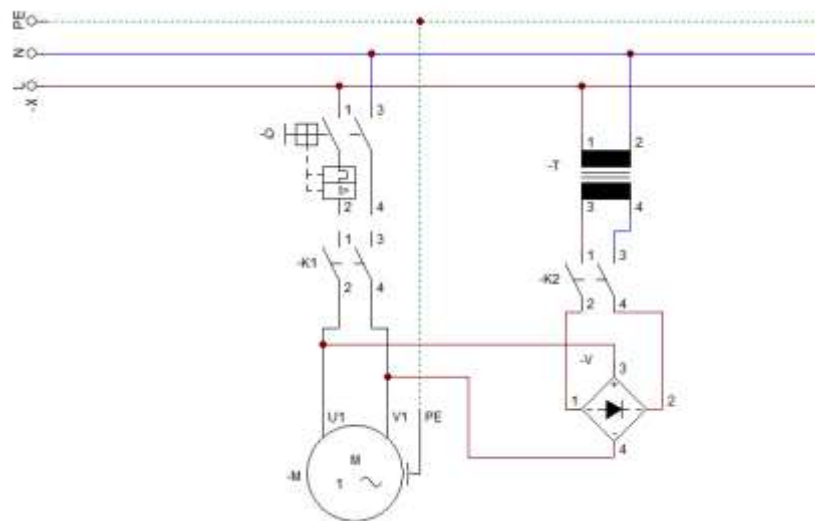
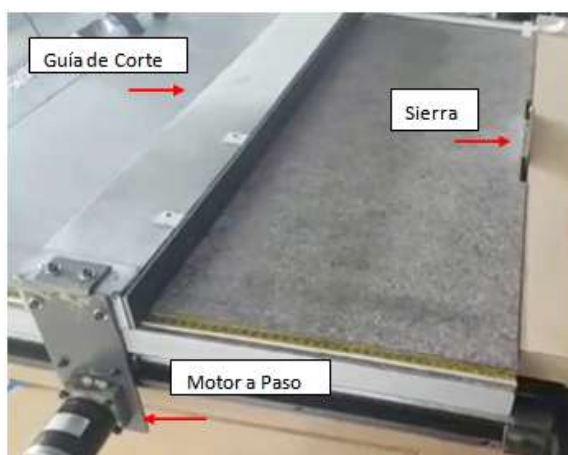


Diagrama de Accionamiento y Paro de Emergencia de motor, Elaborado por: Julio Llumiquinga, Jonathan Alvear.

### 3.6 Sistema de posicionamiento de guía de corte

El sistema de transmisión de movimiento propuesto para lograr el desplazamiento horizontal de la guía está conformado por ruedas de fricción, piñón cremallera, pasadores lineales y motores a paso.

Figura 3. 16. Sistema de posicionamiento de Corte

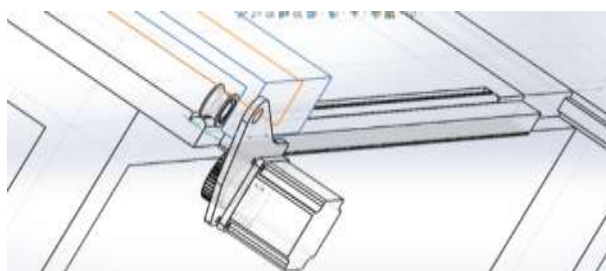


Guía de posicionamiento regulada por motor a paso, Elaborado por: Julio Llumiquinga, Jonathan Alvear

### 3.6.1 Descripción de Avance de Guía

El desplazamiento horizontal de la guía de corte esta proporcionada por una barra de aluminio acoplada con dos ruedas para el desplazamiento a lo largo de la mesa. A los extremos de la mesa está colocado el motor a pasos acoplado a la barra de aluminio que controla el desplazamiento de la guía a través de la mesa hasta la posición deseada.

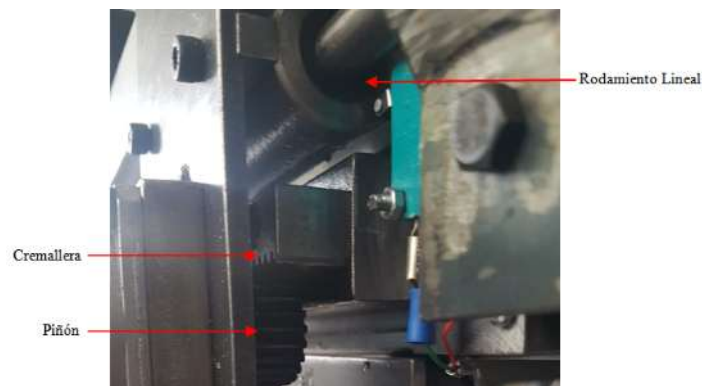
Figura 3. 17. Sistema de traslación de la Guía de Medición



Elementos que conforman el Sistema, Elaborado por: Julio Llumiquinga, Jonathan Alvear

Debido a que la colocación de la guía de corte no obtuvo un desplazamiento parejo, se tuvo que sumar un sistema mecánico adicional para que el eje avance uniformemente. Los rodamientos lineales SKF se fijaron a la guía de corte y estos recorren a través de tubos cilíndricos de acero de 6 mm. Este sistema mecánico eliminaba la carga adicional que se ejerce en los motores a paso y el conjunto de piñones y cremallera permitiendo un avance adecuado mejorando la precisión del sistema de posicionamiento de la guía de corte.

Figura 3. 18. Mecanismo de desplazamiento



Piñón Cremallera, Rodamientos Lineales. Mecanismo de desplazamiento de guía de corte. Elaborado por: Leonardo Llumiquinga, Jonathan Alvear

El motor a pasos es el encargado de regular el desplazamiento mediante el número de pulsos proporcionados por la placa de control. Este dispositivo puede controlarse de distintas maneras, aumentando su torque disminuyendo su velocidad y viceversa.

Figura 3. 19. Motor a Paso SHINANO KENSHI



Motor a paso utilizado para el desplazamiento. Elaborado por: Leonardo Llumiquinga, Jonathan Alvear

Tabla 3. 4. Especificaciones Motor a Paso

Modelo	STH-54D500
Voltaje de Suministro por fase	6.5 V
Corriente por fase	1.3 A
Ángulo de paso	1.8°
Torque	4.5 kg.cm

Características Motor a Paso SHINANO KENSHI. Fuente: (SKP, 2006)

### 3.6.2 Mecanismo Piñón Cremallera

En consecuencia, el diseño del sistema mecánico para lograr el paso en milímetros y el recorrido de 40 cm. El fabricante propuso los siguientes parámetros: El Piñón posee un número de dientes de 22, módulo de 1.25. De forma estándar se obtiene un Diámetro Circular 27.5 mm. Se procede a realizar el análisis de fabricación del piñón (Junivall, 2013). Para calcular el valor de Diámetro circular procede:

$$m = \frac{D}{N} \quad \text{Ec. (3.1)}$$

$$D = 27.5 \text{ mm} \quad \text{Ec. (3.2)}$$

Donde:  $m$  = módulo del piñón,  $D$  = diámetro circular y  $N$  = número de dientes

El paso circular se define  $p_c$ :

$$p_c = m \cdot \pi \quad \text{Ec. (3.3)}$$

$$p_c = 3,9269 \text{ mm} \quad \text{Ec. (3.4)}$$

Donde:  $p_c$  = paso circular y  $m$  = módulo del piñón.

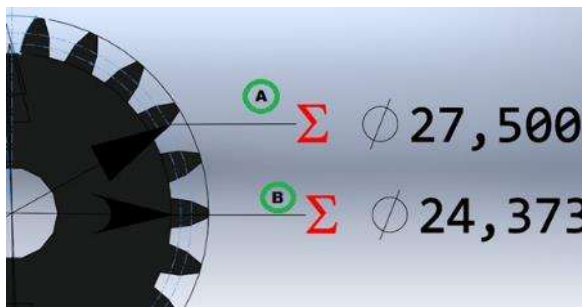
El Addendum ( $a$ ) es equivalente al módulo de manera que:

$$a = m \quad \text{Ec. (3.5)}$$

$$a = 1.25 \text{ cm} \quad \text{Ec. (3.6)}$$

Utilizando el software SolidWorks haciendo uso de la herramienta Toolbox que contiene piezas estándar se creó el piñón de la Figura 3.20 que refleja los cálculos de diámetro circular.

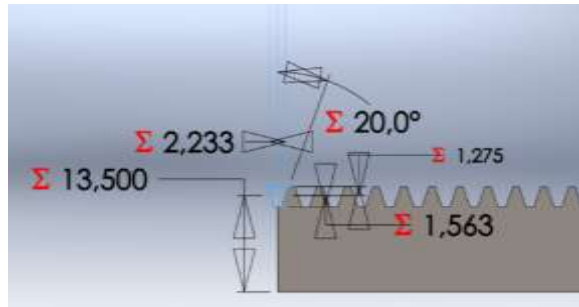
Figura 3. 20. Detalles Piñón



Diámetro Circular (A), Dedendum (B) Elaborado por: Leonardo Llumiangua, Jonathan Alvear



Figura 3. 21. Cremallera



Altura, Ángulo de presión de cremallera, Elaborado por: Leonardo Llumiquinga, Jonathan Alvear

### 3.6.3 Relación de posición Piñón-Cremallera, Motor a pasos

Considerando que el motor a pasos SKC tiene una resolución de  $1.8^\circ$  por cada vez que se alimente una de sus bobinas requiere de 200 pasos para lograr una revolución. Se debe obtener la relación de número de dientes por centímetro en la cremallera.

Figura 3. 22. Cremallera y piñón



Disposición de piñón y cremallera, Elaborado por: Leonardo Llumiquinga, Jonathan Alvear

Utilizando el software SolidWorks y la herramienta cota, además de utilizar un calibrador y medir manualmente el parámetro de número de dientes por centímetro se obtuvo el siguiente valor: 2.5142. Para determinar la relación de avance por revolución del piñón se utiliza la Ec. (3.9).

$$d = \frac{N}{n} \quad \text{Ec. (3.7)}$$

$$d = 8.75 \text{ cm/rev} \quad \text{Ec. (3.8)}$$

Donde:  $d$ = distancia de avance por revolución,  $N$ = número de dientes y  $n$  = número de dientes por centímetro.



Una vez encontrada la relación de avance por revolución del piñón, se procede a encontrar la relación entre número de pasos y distancia en milímetros. Para que el controlador transforme el valor ingresado a un valor real que permita a la guía cumplir la distancia requerida se relacionan los datos del motor con el valor obtenido de la Ec. (3.8).

El motor a pasos para cumplir una revolución debe cumplir 200 pasos, es decir, por cada pulso el eje gira  $1.8^\circ$ . Para aumentar la resolución del avance del motor se utilizó el método de activación "Half Step", en consecuencia una revolución necesitara de 400 pasos y por cada pulso el eje del motor gira  $0.9^\circ$ . Los datos de estas relaciones se reflejan en la Tabla 3.5.

Tabla 3. 5. Relación Pasos, Grados y Distancia

Pasos	Grados	Distancia [mm]
1	0,9	0,2188
2	1,8	0,4375
3	2,7	0,6563
4	3,6	0,8750
5	4,5	1,0938*
6	5,4	1,3125
7	6,3	1,5313
8	7,2	1,7500
9	8,1	1,9688*
10	9	2,1875
11	9,9	2,4063
12	10,8	2,6250
13	11,7	2,8438
14	12,6	3,0625*
15	13,5	3,2813
16	14,4	3,5000
17	15,3	3,7188
18	16,2	3,9375

Muestra de Datos de Avance y números de paso requeridos. Elaborado por: Julio Llumiquinga, Jonathan Alvear.

Una vez elaborado la relación entre distancia y pasos se procede a analizar y escoger los datos más cercanos para cumplir el avance en milímetros del sistema. Como se observa en la Tabla 3.5 los valores\* son cercanos a su inmediato entero superior o

inferior. El error a considerar es de un máximo de 0.0625 ó 0.0312 mm siendo imperceptible al ojo humano. Los valores más próximos fueron seleccionados para fabricar una relación proporcional entre el número de pasos y la distancia teórica que recorrerá la guía.

La Tabla 3.6 es una muestra de los datos que se utilizaron para procesamiento y posterior generación de una ecuación que permite relacionar la distancia en milímetros ingresada por el usuario y el número de pulsos entregados por el controlador Arduino hacia el driver de motores a paso permitiendo el avance de la guía de corte.

Tabla 3. 6. Relación Pasos, Distancia

Pasos	Distancia (mm)
457	100
640	140
777	170
868	190
937	205
1097	240
1326	290
1394	305
1554	340
1646	360
1783	390
1874	410
2171	475
2286	500

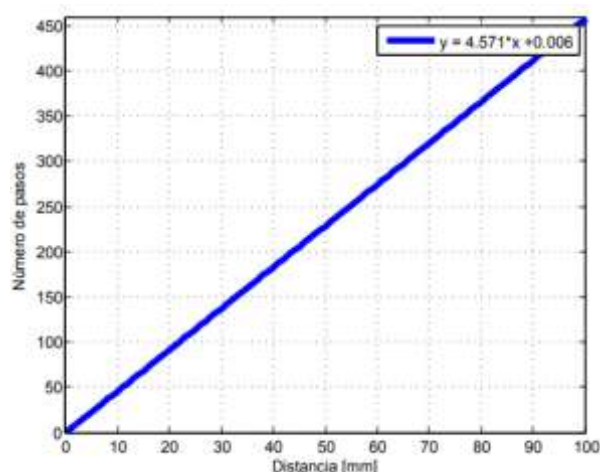
Muestra de datos para cumplir el avance en mm. Elaborado por: Julio Llumiquinga, Jonathan Alvear

Al utilizar la herramienta Matlab se realizó una aproximación de los datos para obtener la ecuación que relaciona el número de pasos con la distancia ingresada. El número de pasos corresponde al número de pulsos que el controlador Arduino debe enviar al arreglo MOSFET.

$$P = 4.571d + 0.006 \quad \text{Ec. (3.9)}$$

Donde: P = número es el número de pulsos y d = distancia de corte ingresada.

Figura 3. 23. Relación Número de paso y Distancia



Número de pasos y avance en milímetros. Elaborado por: Julio Llumiquinga, Jonathan Alvear

### 3.7 Sistema de Sujeción de Aglomerado

El sostener el tablero a ser cortado representa un riesgo para el operador. El sistema de sujeción por vacío permite que el tablero permanezca firme en la parte móvil de la mesa de corte evitando la manipulación directa por parte del operario. Virutex SVN-250 otorga un agarre solido de la superficie de materiales no porosos mediante vacío.

Figura 3. 24. Sujeción por vacío



Sujeción por vacío SVN-250 Elaborado por: (Virutex, 2013)

Tabla 3. 7. Características Técnicas Mesa de Vacío

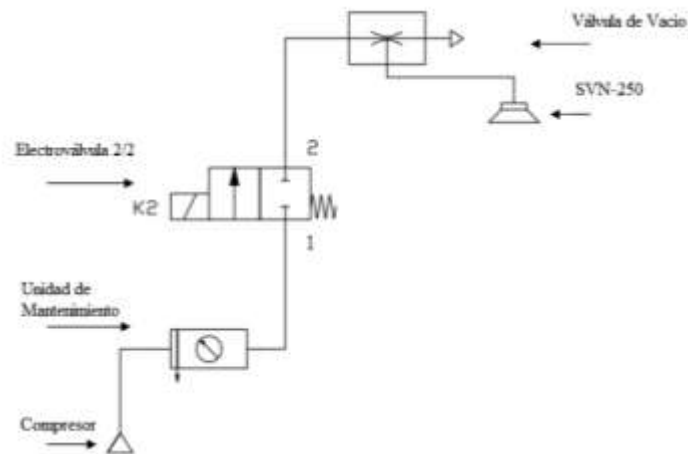
Modelo	SVN-250
Fuerza de Sujeción	800 gr/cm <sup>2</sup>
Presión de Trabajo	5,5 - 7 bar
Dimensión	150x150 mm
Peso	325 gr

Especificaciones técnicas SVN-250, Fuente: (Virutex, 2013)

Este sistema funciona en la operación escuadrar, la guía de posicionamiento no entra en funcionamiento. Debido a que si se realiza presión de ambos lados del aglomerado se puede originar el contragolpe haciendo que el trozo de aglomerado se levante y salte desde el lugar de trabajo hacia el operario. Se realizó una guía en el tablero móvil de la máquina que permite mover verticalmente el dispositivo de sujeción al vacío cuando se trabaje con tableros de mayor dimensión.

El accionamiento del sistema de vacío esta pilotado por la tarjeta de control en conjunto con una electroválvula 2/2. El sistema requiere manguera de 1/4" y presión de trabajo constante promedio de 6 bar. Obsérvese la Figura 3.26.

Figura 3. 25. Esquema Neumático



Esquema neumático de sujeción por vacío. Elaborado por: Leonardo Llumiquinga, Jonathan Alvear

### 3.8 Diagrama de Bloques del Sistema

El controlador Arduino Mega se encarga del posicionamiento de la guía de corte, mediante la placa controladora de los motores a paso. También se hace cargo del accionamiento del Motor de la sierra, la activación de la válvula al vacío, todo esto se realiza mediante el control de activación de los contactores respectivos para cada elemento de potencia, además la placa controladora permite el encendido, apagado de luces indicadoras y la visualización del estado de la máquina mediante la pantalla de cristal líquido.

Su programación se realiza a través del software Arduino, esta tarjeta de control posee entradas como sensores de posicionamiento Encoder que sirve para controlar y

monitorear la guía de corte, finales de carrera que sirven para asegurar el funcionamiento de la guía además de controlar su posicionamiento al momento de encender la máquina, un selector que permite el encendido y apagado general del sistema, un teclado matricial de 4x3 para ingresar las medidas de corte que el operador requiera, pulsadores que permiten el control total del equipo y un paro de emergencia, el cual sirve para detener por completo el proceso de corte de tableros de aglomerado, deteniendo la sierra circular de mesa y regresando a su posición original la guía de corte. En la Figura 3.27 se aprecia como el software está desarrollado.

Figura 3. 26. Diagrama de Bloques del Sistema semiautomático de sujeción y corte

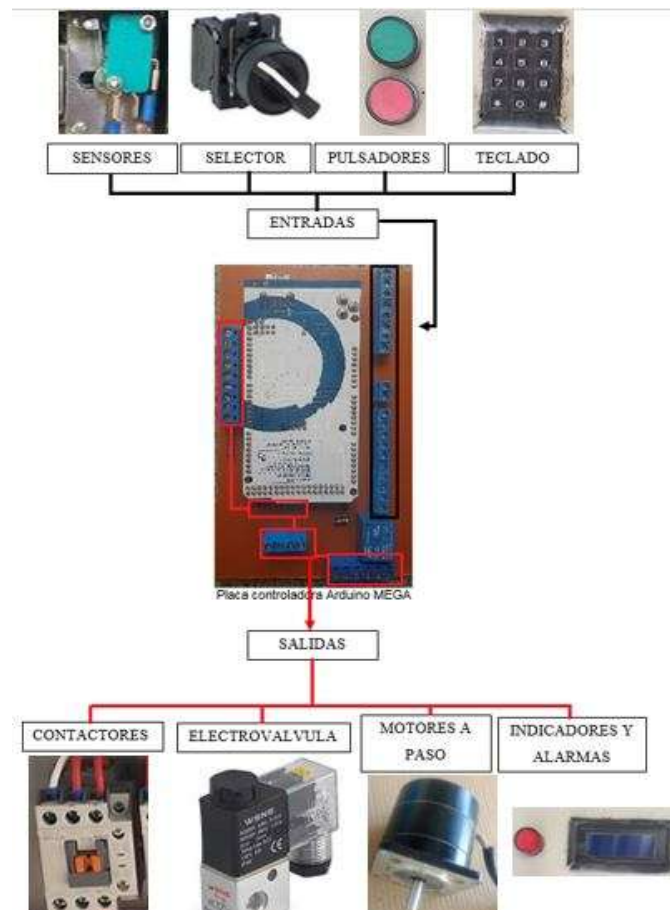


Diagrama de bloques de conexión de entradas y salidas. Elaborado por Jonathan Alvear y Leonardo Llumiquinga

### 3.9 Programación de la tarjeta electrónica

La tarjeta de control, está provista de un Arduino Mega 2560, la estructura básica del lenguaje de programación en Arduino, consta de dos partes necesarias, las cuales encierran bloques que contienen declaraciones o instrucciones.

El lenguaje de programación de Arduino posee un *setup ()*, que es la parte encargada de recoger toda la información de los periféricos, declaración de variables, inicializar valores, configuración de comunicación, entre otros. Es la primera función a ejecutar en el programa, se ejecuta una sola vez. El *loop ()* contiene el programa o el código que se ejecutara cíclicamente, lo que permite que el programa esté respondiendo continuamente ante los eventos que se produzcan en la placa. El lenguaje de programación base de las tarjetas Arduino es C++, por esa razón, es muy similar a la programación de los microcontroladores. Se detalla la programación en el Anexo C.

#### 3.9.1 Diagrama de Flujo del Programa Principal

La programación principal de la tarjeta de control está basada en dos operaciones, que se activan cuando se ingresa el carácter correcto y el sistema de seguridad se encuentre inactivo, es decir, que ninguna alarma se encuentre activa. Recordando que “E1” es el selector de encendido o apagado de todo el sistema. Dichas operaciones se detallan de mejor manera en los Anexos D para “Cortar” y E para “Escuadrar”.

Figura 3. 27. Diagrama de Flujo principal del sistema

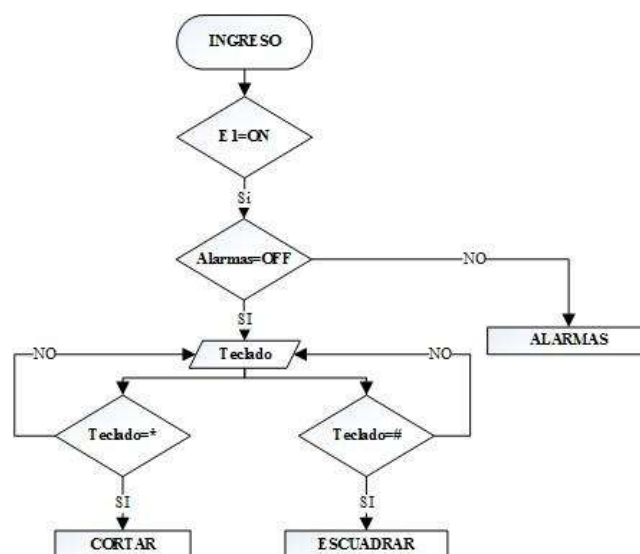


Diagrama de flujo principal del sistema. Elaborado por: Jonathan Alvear y Leonardo Llumiquinga.

### 3.9.2 Diagrama de Flujo de la Operación “Cortar”

En la operación “Cortar”, se puede ingresar el valor de corte que se desea realizar a los tableros de aglomerado. El proceso consta de cuatro etapas que se visualizan en la pantalla líquida: la primera es el ingreso del corte, la segunda es la corroboración del valor, en esta etapa se puede avanzar o cancelar el proceso. La tercera etapa se visualiza el avance de la guía de corte, al valor ingresado previamente. La cuarta fase notifica al operador, que puede llevar a cabo el trabajo, o que puede cancelar e ingresar otro corte, esto nos llevaría al primer proceso. Por último, la quinta etapa visualiza el avance de la guía de corte a su estado original. El pulsador de “Start” permite avanzar en las fases de la pantalla líquida, el botón de “borrar” es el que permite reiniciar los valores ingresados, además de cancelar. Por ser un método extenso y para evitar confusiones con el diagrama de flujo, la programación se puntualiza en el Anexo D.

Figura 3. 28. Diagrama de Flujo de la operación Cortar

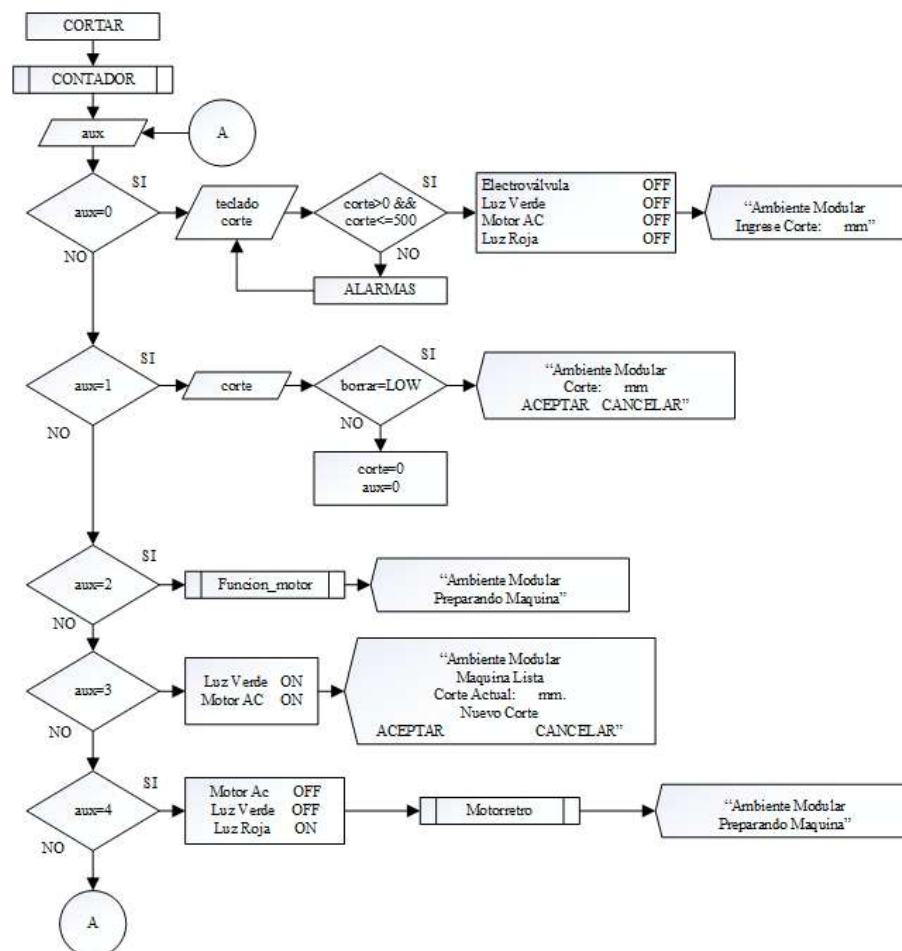


Diagrama de flujo de la operación cortar. Elaborado por: Jonathan Alvear y Leonardo Llumiquinga.

Los métodos “Funcion\_motor” y “Motorretro”, sirven para realizar el avance y retroceso de la guía de corte, estos métodos se los detallan posteriormente para evitar confusiones en el diagrama de flujo de la Figura 3.29. La variable “aux” sirve para realizar los cambios de casos respetivos, esta variable cambia con respecto al método “contador”, el cual permite realizar el cambio de los casos presentados en la imagen. Para observar la programación del presente diagrama de flujo. Véase Anexo C.

### 3.9.3 Diagrama de Bloque de la Operación “Escuadrar”

En la operación “Escuadrar”, se activa la electroválvula, cuya función principal es la de permitir el accionamiento de la válvula al vacío, la cual sujetara de manera permanente los tableros de aglomerado, brindando una mayor sujeción para facilitar el corte de los mismos. La activación y desactivación de la válvula al vacío, se realiza mediante los pulsadores de “Start” y “borrar”, además se visualiza en la pantalla liquida y con una luz piloto el estado de la electroválvula. Para observar la programación del presente diagrama de flujo Véase Anexo E.

Figura 3. 29. Diagrama de Flujo de la operación Escuadrar

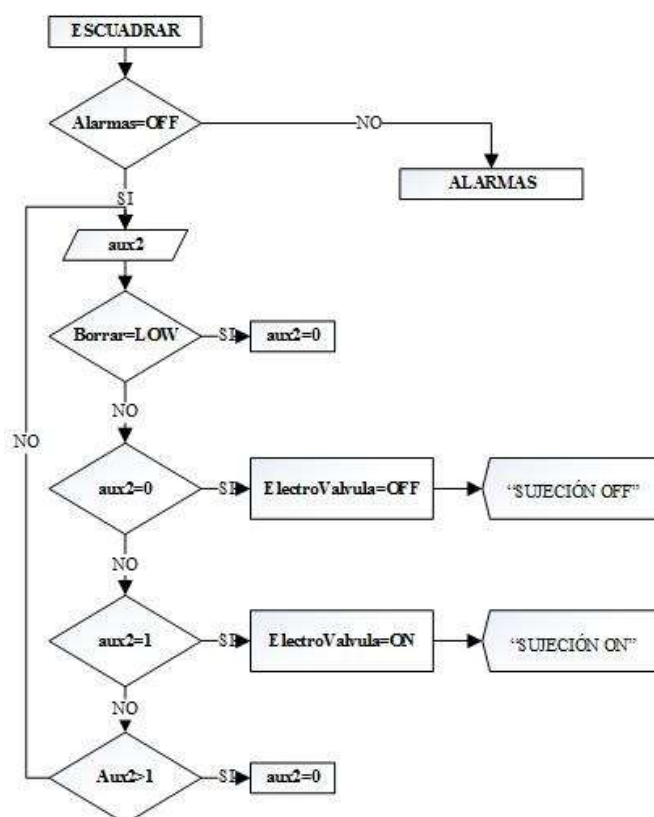


Diagrama de flujo de la operación escuadrar. Elaborado por: Jonathan Alvear y Leonardo Llumiquinga.

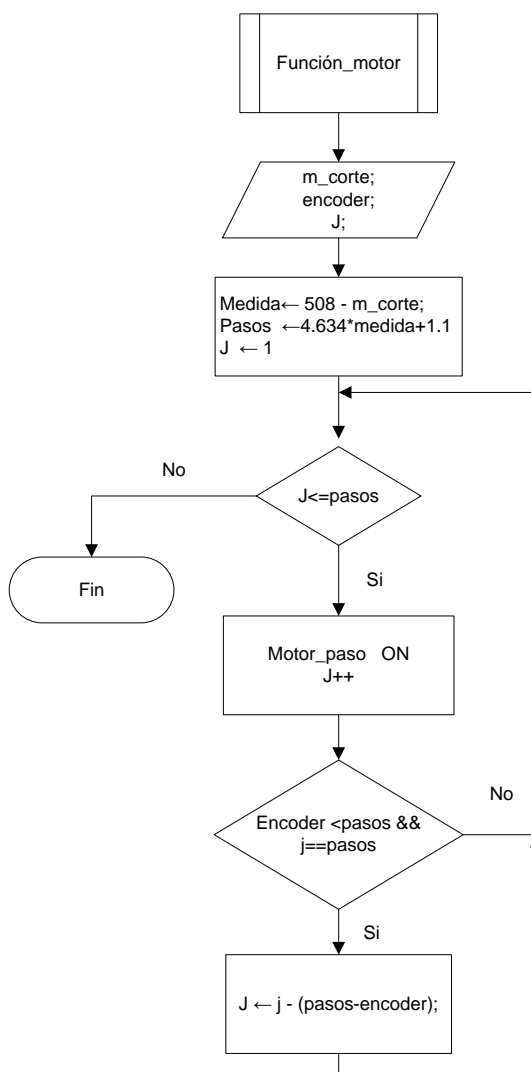


La variable “aux2” cumple la misma función que la variable “aux” presentada en la Fig3.32, es decir, sirve para realizar los cambios de estado en el proceso de escuadrar. Este proceso es representado mediante el diagrama de flujo de la Figura 3.33.

### 3.9.4 Diagrama de Flujo del Método “Funcion\_motor”

El método se encarga de controlar el accionamiento de los motores a paso en base a la distancia ingresada de corte. El controlador es el encargado de generar los pulsos necesarios equivalente al número de pasos que son producto de la Ecuación 3.9.

Figura 3. 30. Control de posicionamiento de guía



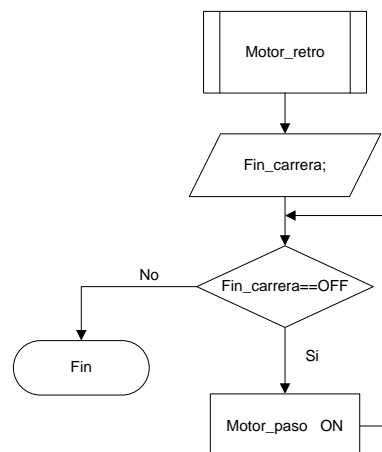
Método de activación de motores a paso. Elaborado por: Leonardo Llumiquinga, Jonathan Alvear

El encoder entrega los datos al controlador en tiempo real, el número de pasos entregados por Arduino hacia el driver de los motores es regulado y compensado por la relación entre el número de pulsos entregados por el encoder y número de pasos en proceso. El método mencionado se especifica de mejor manera en el Anexo F e I.

### 3.9.5 Diagrama de Flujo del Método “Motorretro”

Permite la inversión de giro de los motores a paso. Este proceso permite la inicialización del sistema al colocar la guía de corte en el eje x inicial. Los elementos que limitan el funcionamiento del método son los finales de carrera ubicados para inicializar el sistema y encender la variable que contiene datos del encoder. El método “Motor\_retro” se puntualiza de mejor manera en el Anexo G.

Figura 3. 31. Retroceso de Guía de corte

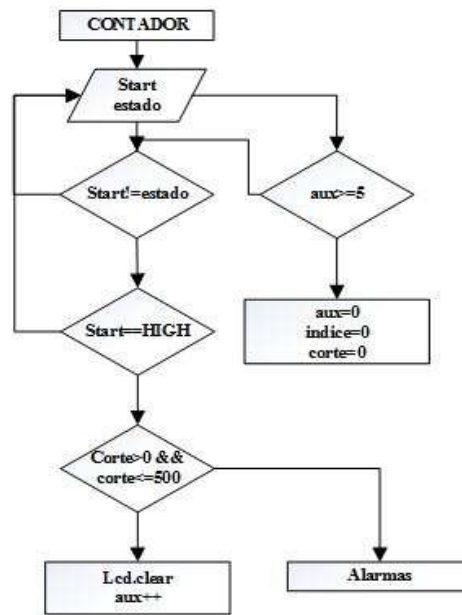


Método de activación de motores a paso. Elaborado por: Leonardo Llumiquinga, Jonathan Alvear

### 3.9.6 Diagrama de Flujo del Método Contador

El método de contador, permite acceder a los diferentes casos que posee el programa principal, es decir, pulsando el botón de “start”, aumentamos la variable “aux” en 1, para poder pasar a la siguiente ventana o caso respectivo del programa. Cabe recordar que la variable “aux” aumenta siempre y cuando el valor ingresado de la medida sea diferente de cero y no sea mayor a 500 mm. Para asegurar el conteo correcto de la variable, se utilizó el cambio de estado del botón, para no generar ningún tipo de problemas al momento de accionar o presionar el botón de start.

Figura 3. 32. Método contador



Lógica método Contador Elaborado por: Leonardo LlumiQuinga, Jonathan Alvear

Para evitar que la variable “aux” se desborde y genere problemas o confusión con la programación de los distintos casos del sistema, se procedió a condicionar dicha variable. Cuando ésta sea mayor a cuatro unidades, automáticamente volverá a ser cero, por lo cual, regresaremos a la pantalla de inicio del programa. Esto nos sirve para poder reiniciar el programa y posteriormente poder ingresar un nuevo valor de corte para los tableros de alomerado. Para mayor comprensión del flujo grama de la Figura 3.33 revisar el Anexo H, que detalla de mejor manera la programación.

## CAPÍTULO 4

### ANÁLISIS Y RESULTADOS

En este capítulo se realiza una comprobación del estado, funcionamiento y precisión del sistema propuesto. Expone datos obtenidos del sistema semi-automático de corte de aglomerado con sistema de control en lazo abierto y con retroalimentación de la dimensión de medida.

#### 4.1 Implementación del sistema propuesto

La ubicación de la máquina dentro del taller "Ambiente Modular" se definió en base al acceso para los trabajadores y el espacio útil. Así también, se realizó las instalaciones eléctricas y neumáticas necesarias para su correcto funcionamiento. El sistema semi-automático posee etiquetas que proveen información al operador para facilitar la comprensión de su funcionamiento. La inclusión de una parte móvil en la mesa de trabajo a diferencia de la máquina antigua otorga al usuario una mejor manipulación sobre los tableros de aglomerado al momento de realizar un corte. El funcionamiento y validación del mismo se desarrollan a lo largo de este capítulo.

Figura 4. 1. Sistema Semi-automático



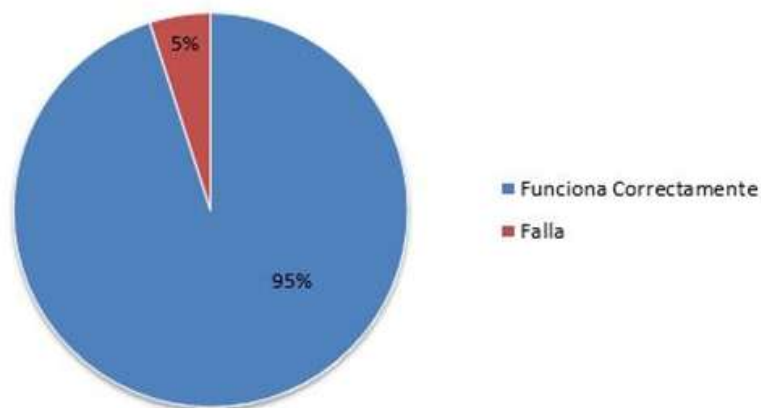
Implementación del sistema propuesto en el taller "Ambiente Modular". Elaborador por: Leonardo Llumiquinga y Jonathan Alvear

## 4.2 Pruebas Opción Escuadrar

La operación escuadrar del sistema semi-automático permite al operador eliminar imperfecciones de cualquier lado del tablero que posea imperfecciones. La inclusión del sistema de sujeción al vacío en esta operación reduce el riesgo de operación de la maquina debido a que el operador manipula el corte de forma indirecta. El operador debe fijar manualmente la dimensión del tablero de aglomerado que desea. Una vez fijada la medida se enciende el sistema de sujeción desde el panel y deberá empujar el tablero móvil a través de la sierra.

La Empresa Ambiente Modular trabaja con tableros de 0.6, 0.8, 1.2 y 3.6 mm de grosor por esta razón la sujeción al vacío es útil al trabajar con este tipo de tableros teniendo como limitante a que el material a ser sujetado debe ser uniforme y sin porosidades. Se realizaron 20 pruebas para validar la operación escuadrar. Los resultados se observan en la Figura 4.2.

Figura 4. 2. Pruebas Sistema Sujeción



Tabulación de 20 pruebas funcionamiento de la opción escuadrar. Elaborado por: Jonathan Alvear y Leonardo Llumiquinga.

La operación escuadrar funciono correctamente el 95 % de las 20 pruebas realizadas, el fallo de este sistema se produjo debido a que el compresor dejo de funcionar y la presión de trabajo se redujo a 3 bar por esta razón la sujeción del trozo de aglomerado no fue firme. Al ser el aglomerado un material poroso se sugiere trabajar con el material una vez laminado para mayor adherencia.

### 4.3 Prueba del Sistema de Seguridad

El sistema de seguridad permite asegurar y salvaguardar la salud física del operador eliminando cualquier tipo de inconvenientes que se presenten en el uso diario del equipo. La inclusión del sistema de seguridad, posee un retorno total de la guía de corte, para evitar daños en la máquina y al operador, también desactiva por completo todos los elementos del sistema, como son: motor de la sierra, electroválvula, luz piloto de activación, y como indicador de paro de emergencia se activa la luz piloto roja. La activación del sistema de seguridad se lo realiza mediante el Paro de emergencia, que se encuentra ubicado tanto en el panel de control como en la mesa de trabajo.

Figura 4. 3. Pruebas para el sistema de Seguridad



Tabulación de 20 pruebas funcionamiento del sistema de seguridad. Elaborado por: Jonathan Alvear y Leonardo Llumiquinga

### 4.4 Pruebas de precisión de corte en lazo abierto

El propósito de realizar pruebas del sistema de posicionamiento de guía de corte en lazo abierto y posteriormente en lazo cerrado tiene como objetivo visualizar el porcentaje de error en ambos sistemas, y definir cuál proceso es el más idóneo de utilizar.

En esta prueba el sensor de distancia fue excluido del proceso dando lugar un sistema de control en lazo abierto del posicionamiento de guía de corte que se muestra en la Figura 4.4. La dimensión de corte ingresada al panel de control se procesa en el controlador que mediante la Ec. (3.9) transforma la medida a un número equivalente de pasos; inmediatamente se envía pulsos equivalentes a la distancia necesaria.

Figura 4. 4. Diagrama de bloques Sistema de corte

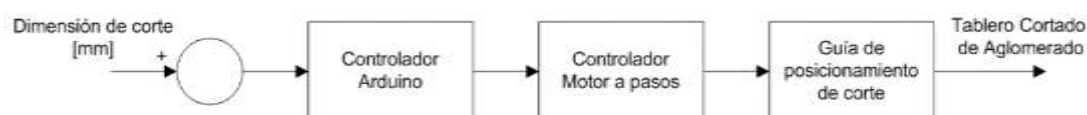


Diagrama de bloques de sistema de posicionamiento de guía de corte. Elaborado por: Jonathan Alvear y Leonardo Llumiquinga.

El controlador envía los pulsos necesarios para cumplir el recorrido necesario sin embargo no existe una confirmación de que haya cumplido dicho proceso completamente. En consecuencia, el sistema es sensible a perturbaciones externas tal como carga sobre la guía o fricción en el sistema mecánico. La Ec. (3.9) que relaciona la dimensión de corte con el avance de los motores a paso se obtuvo en la sección 3.6.3 a partir de la relación entre el piñón y cremallera.

Tabla 4. 1. Datos de corte de aglomerado

Prueba	Valor Teórico		Valor Medido	Error	
	Pasos	Corte (mm)	Corte (mm)	Absoluto	Relativo %
1.	457	405	406	1	0,2
2.	640	365	367	2	0,5
3.	709	350	352	2	0,6
4.	777	335	337	2	0,6
5.	868	315	317	2	0,6
6.	937	300	302	2	0,7
7.	1097	265	269	4	1,5
8.	1166	250	254	4	1,6
9.	1326	215	219	4	1,9
10.	1394	200	204	4	2,0
11.	1554	165	170	5	3,0
12.	1646	145	150	5	3,4
13.	1714	130	135	5	3,8
14.	1783	115	120	5	4,3
15.	1874	95	101	6	6,3
16.	1897	90	96	6	6,7
17.	1920	85	91	6	7,1
18.	1988	70	76	6	8,6
19.	2057	55	61	6	10,9
20.	2148	35	42	7	20,0
21.	2171	30	37	7	23,3
22.	2194	25	32	7	28,0
23.	2240	15	22	7	46,7
24.	2263	10	17	7	70,0
25.	2286	5	12	7	140,0

Dimensiones de corte teórico y real. Elaborado por: Jonathan Alvear y Leonardo Llumiquinga

Para la comprobación de precisión de corte se introdujeron dimensiones con un intervalo de 5 mm en el rango de trabajo de la máquina. Los datos de corte en la Tabla 4.1 fueron obtenidos con el sistema de posicionamiento trabajando bajo la Ec. (3.9). El error absoluto del sistema es incremental y proporcional a la distancia que recorre la guía de corte. Esto se debe a perturbaciones y la fricción mecánica entre el piñón de motor a pasos y cremallera. Así también la fuente de suministro para la operación de los motores a paso no es la nominal con valor de 5 V y 10 A.

#### 4.4.1. Resultados de Medidas de Corte a 50, 200 y 400 mm

Para cuantificar la confiabilidad y validez del equipo se determinó el error absoluto y porcentual del sistema, basándose en 20 muestras de corte de los tableros de aglomerado presentes en la Tabla 4.2.

Tabla 4. 2. Medidas de corte de aglomerado a 50 mm, 200 mm y 400 mm

	CORTE OBTENIDO (mm)	FRECUENCIA	Xi * fi	Xm	ERROR	
					Absoluto (mm)	Relativo %
<b>CORTE 50 mm</b>	55,5	1	55,5	54,375	5,5	8,75
	54	10	540		4	
	55	4	220		5	
	54,4	5	272		4,4	
<b>CORTE 200 mm</b>	205	16	3280	204,8	5	2,40
	204	4	816		4	
<b>CORTE 400 mm</b>	398	1	398	402	2	0,50
	400,5	2	801		0,5	
	403	12	4836		3	
	401	5	2005		1	

Medidas de corte de aglomerado a 50mm, Elaborado por Jonathan Alvear & Leonardo Llumiquinga.

La Tabla 4.2 detalla los cortes realizados  $X_i$  y el número de veces que se repiten dichos cortes  $f_i$ . Esto servirá para hallar un promedio general de los mismos, que será tomado como valor aproximado por parte del sistema, para posteriormente poder encontrar el error absoluto y relativo del mismo. (Chapra & Canale, 2007)

$$X_m = \sum_{i=1}^n \frac{X_i * f_i}{n} = \frac{\sum_{i=1}^{20} X_i * f_i}{20}$$

Ec. (4.1)



Donde  $Xm$  es el valor medio o aproximado del sistema, para obtener dicho valor, se realiza la sumatoria del producto entre el número de veces que se repitió el corte  $f_i$  y el valor de cada corte  $X_i$ ; dividido para el numero de muestras totales que se realizó, en este caso 20. Véase Ec. (4.1). (Chapra & Canale, 2007)

Reemplazando los datos de la Tabla 4.2 en la Ec. (4.1). El valor medio de corte para 50 mm, 200 mm y 400 mm es:

$$Xm_{(50mm)} = \frac{1087,5}{20} = 54,375 \text{ mm} \quad \text{Ec. (4.2)}$$

$$Xm_{(200mm)} = \frac{4061,6}{20} = 203,08 \text{ mm} \quad \text{Ec. (4.3)}$$

$$Xm_{(400mm)} = \frac{8012}{20} = 400,6 \text{ mm} \quad \text{Ec. (4.4)}$$

Con el valor promedio  $Xm$  de cada corte, podremos obtener el error absoluto del sistema, para las medidas establecidas previamente. El valor  $Xm$  se tomara como el valor general aproximado por parte del sistema para cada corte, mientras que el Valor Real será el valor deseado  $X$ . Dicho error se lo calcula según la Ec. (4.5). (Chapra & Canale, 2007)

$$Ea = | X - Xm | \quad \text{Ec. (4.5)}$$

El error absoluto  $Ea$  se calcula realizando la diferencia del valor absoluto entre el Valor Real o ideal  $X$  y Valor aproximado  $Xm$  por parte del sistema. Reemplazando los datos de las Ec. (4.2), Ec. (4.3), Ec. (4.4), en la Ec. (4.5). El Error absoluto del sistema, para los cortes de 50 mm, 200 mm y 400 mm es:

$$Ea_{(50mm)} = | 50 - 54,375 | = 4,375 \text{ mm} \quad \text{Ec. (4.6)}$$

$$Ea_{(200mm)} = | 200 - 204,8 | = 4,8 \text{ mm} \quad \text{Ec. (4.7)}$$

$$Ea_{(400mm)} = | 400 - 402 | = 2 \text{ mm} \quad \text{Ec. (4.8)}$$

Para tomar en consideración el orden de la magnitud del valor que se estima es necesario normalizar el error con respecto al valor verdadero, es decir:

$$Er = \frac{Ea}{Valor\ Real\ (X)} * 100\% \quad Ec. (4.9)$$

Donde  $Er$  es el error relativo que sirve como indicador de la calidad de una medida de corte. La Ec. (4.9) expresa al error relativo como el cociente entre el error absoluto y el valor que consideramos como exacto (Valor real o ideal). Para calcular el error relativo utilizamos la Ec. (4.9). (Chapra & Canale, 2007)

Reemplazando los datos de las Ec. (4.6), Ec. (4.7), Ec. (4.8), en la Ec. (4.9). El Error relativo del sistema, para los cortes establecidos es:

$$Er_{(50mm)} = \frac{4,375}{50} * 100 = 8,75 \% \quad Ec. (4.10)$$

$$Er_{(200mm)} = \frac{3,08}{200} * 100 = 1,54 \% \quad Ec. (4.11)$$

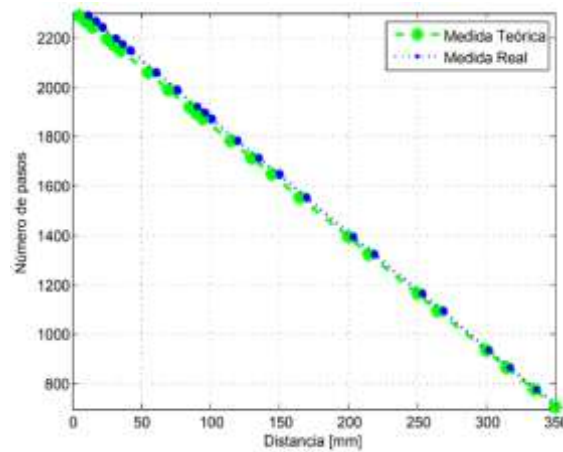
$$Er_{(400mm)} = \frac{2}{400} * 100 = 0,5 \% \quad Ec. (4.12)$$

Posteriormente al cálculo de los errores relativos en lazo abierto, se procede a realizar el ajuste de la ecuación para mejorar el desplazamiento de la guía de corte, previo a este proceso, utilizamos el encoder para poder mejorar el error absoluto y relativo, utilizando un sistema en lazo cerrado.

#### **4.5 Ajuste de operación de la guía de corte**

El error relativo del sistema en lazo abierto en medidas de corte pequeñas es considerable por tanto se debe corregir el método de control. La necesidad de mejorar la exactitud del sistema de posicionamiento de guía de corte oriento a realizar una nueva ecuación acorde con los datos de la Tabla 4.1. En la Figura 4.5 refleja la relación de medida ingresada y medida una vez hecho el corte del aglomerado.

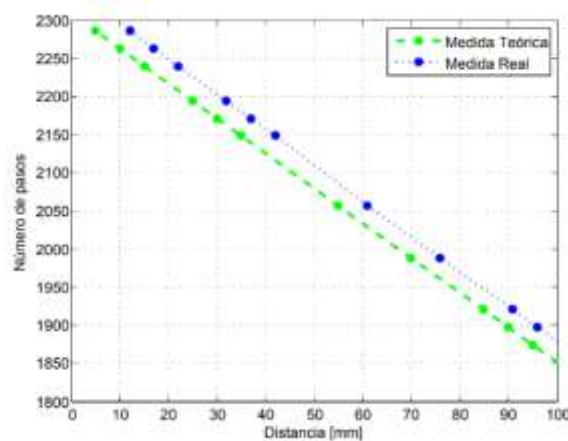
Figura 4. 5. Comparación Datos teóricos y Datos Reales



Comparación de valores teóricos y reales de corte en relación con el número de pasos para cumplir el recorrido. Elaborado por Jonathan Alvear y Leonardo Llumiquinga

La Figura 4.5 representa la diferencia entre el valor ingresado de corte y el resultado del sistema. En medidas superiores a 300 mm la diferencia es  $\pm 1$  mm. Esto se debe a que el punto de referencia inicial de la guía de corte está a 508 mm de la hoja de sierra por tanto la guía recorre menor distancia entre mayor sea el valor ingresado en el panel. En consecuencia, las pérdidas por fricción mecánica al tener un menor recorrido son menores. Sin embargo el error en medidas reducidas de corte se incrementa notablemente como se observa en la Figura 4.6.

Figura 4. 6. Comparación Datos 5-100 mm



Comparación de valores teóricos y reales de corte en relación con el número de pasos para cumplir el recorrido. Elaborado por Jonathan Alvear y Leonardo Llumiquinga.

El producto de corte es impreciso en 4 mm cuando se fija una medida de corte a 200 mm y se incrementa proporcionalmente cuando la medida de corte disminuye.

Para mejorar la exactitud del sistema se realizó una nueva ecuación en relación a los datos obtenidos de la Tabla 4.1. Ecuación que representa la relación entre los pasos y la distancia será la siguiente:

$$P = (4.634d) + 1.1 \quad \text{Ec. (4.13)}$$

#### 4.5.1 Resultado de corrección del sistema

Una vez realizado el ajuste del sistema en lazo abierto, se procede a realizar 20 pruebas para las diferentes medidas descritas en la Tabla 4.3.

Tabla 4. 3. Pruebas de ajuste para el sistema de corte en lazo Abierto

PRUEBA 2	CORTE OBTENIDO Xi (mm)	FRECUENCIA fi	Xi * fi	Xm (mm)	ERROR	
					Absoluto (mm)	Relativo %
<b>CORTE 50 mm</b>	51	12	612	51,1	1	2,20
	52	6	312		2	
	49	2	98		1	
<b>CORTE 200 mm</b>	200	1	200	199,7	0	0,15
	202	8	1616		2	
	198	11	2178		2	
<b>CORTE 400 mm</b>	400	8	3200	399,85	0	0,04
	399	6	2394		1	
	400,5	6	2403		0,5	

Pruebas de ajuste para el sistema de corte en lazo Abierto. Elaborado por: Jonathan Alvear, Leonardo Llumiquinga.

Para encontrar los errores absolutos y relativos del sistema, se realiza el procedimiento del inciso 4.3.1. La tabla 4.4 detalla la comparación de los errores con respecto al sistema en función de la Ec. (3.9) y la Ec. (4.13).

El error absoluto y relativo de la prueba 2 demuestra que, una vez realizado el ajuste en la Ec. (3.9) en base a la obtención de datos mediante pruebas de corte de los tableros de aglomerado, mejora considerablemente la precisión y exactitud del sistema. Pero no lo suficiente para validar la precisión de la máquina, por tal motivo se procede a implementar el sensor de distancia Encoder. La Tabla 4.4 demuestra que la corrección del sistema mediante la nueva ecuación matemática no es lo suficientemente precisa y exacta en un corte de 50 mm, lo cual no nos permite validar el funcionamiento total del sistema.

Tabla 4. 4. Comparación de Error Absoluto y Relativo

LAZO ABIERTO	CORTE mm	Error Absoluto (mm)	Error Relativo %
PRUEBA 1	50	4,38	8,750%
	200	4,8	2,40%
	500	2	0,50%
PRUEBA 2	50	1,1	2,20%
	200	0,3	0,15%
	500	0,15	0,04%

Comparación de Error Absoluto y Relativo. Elaborado: Jonathan Alvear, Leonardo Llumiquinga.

#### 4.6 Pruebas del sistema en Lazo Cerrado

El sistema de control en lazo cerrado en el sistema de corte corresponde a la retroalimentación de la señal de salida mediante el uso del encoder. En pruebas anteriores si bien se redujo el error de corte no se consideran posibles afectaciones externas por ejemplo aplicar carga al eje de posicionamiento del mismo modo al cambiar la fuente de alimentación de trabajo de los motores a paso esto produciría fallos en la precisión y exactitud. De ahí la necesidad de retroalimentar los datos de medición al controlador para que otorgue o elimine un número de impulsos determinado por los datos que entrega el encoder. El sistema de posicionamiento de guía de corte trabaja en conjunto con el encoder M30SA-44003N5E para obtener una mayor precisión ante posibles afectaciones externas al momento de trabajo y al llegar a la dimensión de corte requerida.

Figura 4. 7. Sistema de corte con retroalimentación

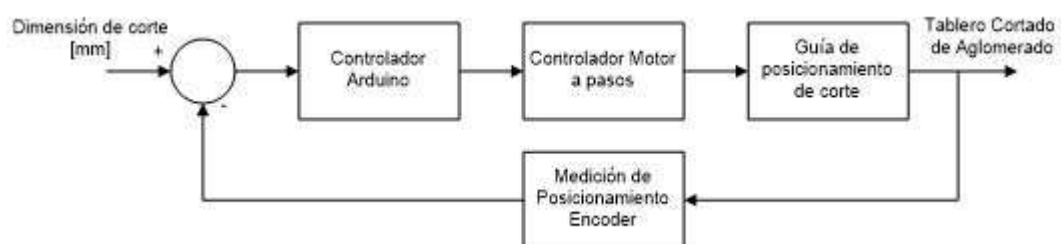


Diagrama de bloques de sistema de posicionamiento de guía de corte con encoder. Elaborado por: Jonathan Alvear y Leonardo Llumiquinga.

Además, se aplicó regulación de velocidad de desplazamiento de la guía de corte al acercarse a la distancia requerida. Para comprobar la precisión y exactitud del sistema se elaboraron cortes de aglomerado con un intervalo de 5 mm en el rango de trabajo

de la máquina. La sensibilidad del instrumento de medida para cortes mayores a 200 mm es de 1 mm, para las demás medidas se utilizó un calibrador.

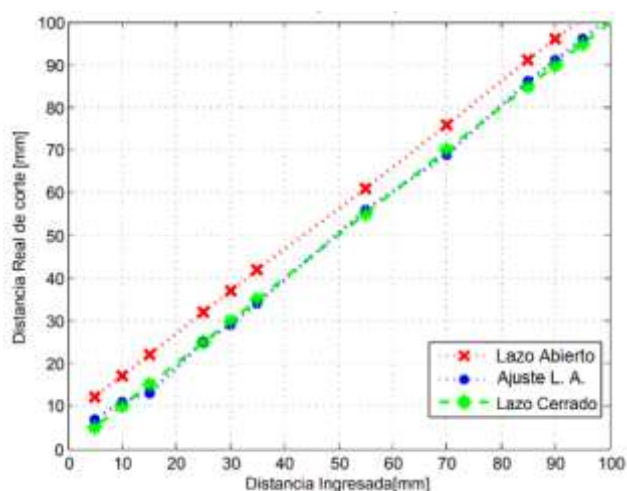
Tabla 4. 5. Resultados Sistema Lazo abierto y Lazo cerrado

Muestra	Medida Ingresada	Lazo Abierto		Lazo Cerrado
		Prueba 1	Prueba* 2	Corte (mm)
1.	405	406	405	405
2.	365	367	365	365
3.	350	352	350	350
4.	335	337	335	335
5.	315	317	315	315
6.	300	302	300	300
7.	265	269	266	265
8.	250	254	251	250
9.	215	219	216	215
10.	200	204	200	200
11.	165	170	166	165
12.	145	150	147	145
13.	130	135	131	130
14.	115	120	116	115
15.	95	101	96	95
16.	90	96	91	90
17.	85	91	86	85
18.	70	76	69	70
19.	55	61	56	55
20.	35	42	34	35
21.	30	37	29	30
22.	25	32	25	25
23.	15	22	13	15
24.	10	17	11	10
25.	5	12	7	5

Refleja el resultado de corte de aglomerado; sistema en lazo abierto (Prueba1), con ajuste (prueba 2) y en con retroalimentación (Lazo cerrado). Elaborado por: Jonathan Alvear y Leonardo Llumiquinga.

En la Tabla 4.5 se omitieron décimas de milímetro a diferencia de la comprobación del sistema para mayor comprensión. El error de corte del sistema en lazo cerrado es mínimo, tanto la precisión como exactitud mejoraron al implementar el sensor de distancia. El encoder entrega 400 impulsos por revolución que representa a un giro completo del motor de 400 pasos permitiendo ejercer un mejor control y mayor precisión sobre el desplazamiento de la guía de corte. A diferencia de lazo abierto, el resultado al introducir medidas de corte entre 5 y 100 mm son próximas a la medida deseada. En la Figura 4.8 se presenta una relación entre la medida ingresada y el resultado del sistema en Lazo abierto, ajuste en lazo abierto y retroalimentación.

Figura 4. 8. Resultado Lazo Abierto, Ajuste y Lazo Cerrado



Refleja el resultado de corte de aglomerado; sistema en lazo abierto (Prueba1), con ajuste (prueba 2) y con retroalimentación (Lazo cerrado). Elaborado por: Jonathan Alvear y Leonardo Llumiyinga.

#### 4.6.1 Validación y Resultados del sistema de corte final

Para obtener los resultados, tanto del error absoluto como el relativo, se procede a calcular los valores medios de cada corte, adquiriendo los datos de la Tabla 4.6 Las fotografías de los cortes de las diferentes medidas se visualizan en el Anexo J.

Tabla 4. 6. Medidas de corte de aglomerado a 50, 200 y 400 mm

	CORTE OBTENIDO $X_i$ (mm)	FRECUENCIA $f_i$	$X_i \cdot f_i$	$X_m$ (mm)	ERROR	
					Absoluto (mm)	Relativo %
<b>CORTE 50 mm</b>	50	9	450	50,34	0,34	0,68
	50,4	7	352,8		0,06	
	51	4	204		0,66	
<b>CORTE 200 mm</b>	200,7	2	401,4	200,03	0,67	0,02
	200,5	1	200,5		0,47	
	200,8	1	200,8		0,77	
	200	8	1600		0,03	
	200,1	3	600,3		0,07	
	199,4	2	398,8		0,63	
	199,6	3	598,8		0,43	
<b>CORTE 400 mm</b>	400	9	3600	399,95	0,05	0,01
	399	3	1197		0,95	
	398	2	796		1,95	
	401	6	2406		1,05	

Medidas de corte de aglomerado a 50mm, 200mm y 400mm, Elaborado por Jonathan Alvear & Leonardo Llumiyinga.

Aplicando la Ec. (4.1) con los datos que nos brinda la Tabla 4.6, se procedió a calcular los valores medios.

$$Xm_{(50mm)} = \frac{1006,8}{20} = 50,34 \text{ mm} \quad \text{Ec. (4.14)}$$

$$Xm_{(200mm)} = \frac{4000,6}{20} = 200,03 \text{ mm} \quad \text{Ec. (4.15)}$$

$$Xm_{(400mm)} = \frac{7999}{20} = 399,95 \text{ mm} \quad \text{Ec. (4.16)}$$

Una vez obtenido el valor medio de cada corte, se calculó el error absoluto para cada uno de ellos. Reemplazando los valores de las Ec. (4.14), Ec. (4.15) y Ec. (4.16) en la Ec. (4.5). Se halla:

$$Ea_{(50mm)} = |50 - 50,34| = 0,34 \text{ mm} \quad \text{Ec. (4.17)}$$

$$Ea_{(200mm)} = |200 - 200,03| = 0,03 \text{ mm} \quad \text{Ec. (4.18)}$$

$$Ea_{(400mm)} = |400 - 399,95| = 0,05 \text{ mm} \quad \text{Ec. (4.19)}$$

Con los valores de los errores absolutos, se procede a calcular finalmente, el error relativo, el cual nos brindara informacion, sobre cuan preciso es el sistema en Lazo Cerrado. Usando los datos de las Ec. (4.17), Ec. (4.18), Ec. (4.19), en la Ec. (4.9), calculamos el error relativo para cada corte.

$$Er_{(50mm)} = \frac{0,34}{50} * 100 \% = 0,68 \% \quad \text{Ec. (4.20)}$$

$$Er_{(200mm)} = \frac{0,03}{200} * 100 \% = 0,02 \% \quad \text{Ec. (4.21)}$$

$$Er_{(400mm)} = \frac{0,05}{400} \% = 0,01 \% \quad \text{Ec. (4.22)}$$

## 4.7 Comparación del Sistema en Lazo Abierto y Lazo Cerrado

El sistema en lazo abierto presenta un error relativo mayor que el sistema en Lazo cerrado, debido a que los sistemas que no poseen una retroalimentación, son muy sensibles al cambio de variables, físicas, tales como, fuentes de voltaje, elementos, etc. Un sistema en lazo abierto necesita ser recalibrado cada cierto tiempo.



Un sistema en Lazo Cerrado, es mucho más robusto, soporta cambios en las variables, y se ajusta a la necesidad o al requerimiento que se le haya dado. Estos sistemas no necesitan ser recalibrados, debido a que los transductores o sensores, son los que brindan información al controlador para que se establezca el sistema y llegue al Set Point deseado. La Tabla 4.7 muestra los valores porcentuales de los errores en los sistemas en lazo Abierto y cerrado.

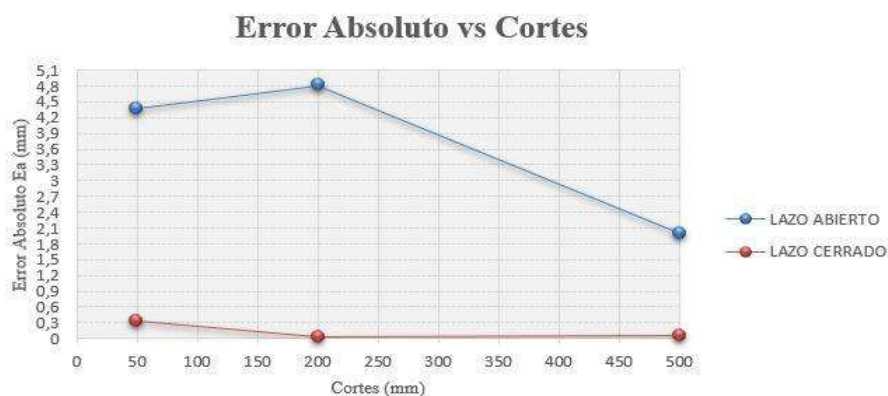
Tabla 4. 7. Error Absoluto y Relativo

	CORTE mm	Error Absoluto (mm)	Error Relativo %
<b>LAZO ABIERTO</b>	50	4,38	8,750%
	200	4,8	2,40%
	500	2	0,50%
<b>LAZO CERRADO</b>	50	0,34	0,68%
	200	0,03	0,02%
	500	0,05	0,01%

Error Absoluto y Relativo en Lazo Abierto y Cerrado, Elaborado por Jonathan Alvear & Leonardo Llumiquinga.

El sistema en Lazo Cerrado genera menos error absoluto y relativo que en lazo abierto, en la Tabla 4.7 Se puede observar como el error disminuye notablemente, cuando el sistema posee el sensor de distancia Encoder a diferencia de cuando no lo posee. El error absoluto denota la falta de precisión del sistema, es decir el grado de aproximación que acompaña a la medida, además dicho error nos permite visualizar la calidad de la medida de corte. La comparación de los errores absolutos tanto en lazo abierto como cerrado se lo puede observar en la Figura 4.9.

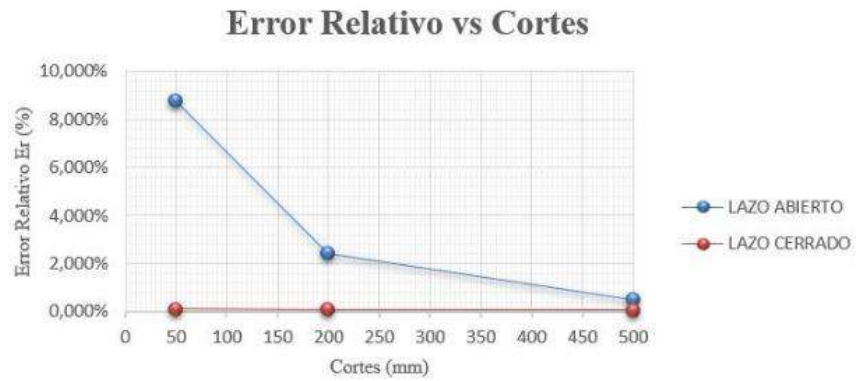
Figura 4. 9. Comparación del error Absoluto del sistema



Gráficas de los errores Absolutos en Lazo Abierto y Cerrado, Elaborado por Jonathan Alvear & Leonardo Llumiquinga.

El error relativo tiene la misión de servir de indicador de la calidad de una medida, por tal motivo se puede observar la diferencia de error entre el sistema en Lazo abierto (color azul) y el sistema en lazo Cerrado (color rojo). Figura 4.10.

Figura 4. 10. Comparación del error Relativo del sistema



Gráficas de los errores relativos en Lazo Abierto y Lazo Cerrado. Elaborado por Jonathan Alvear & Leonardo Llumiquinga

#### **4.8 Conclusiones**

El desarrollo del sistema semiautomático que controla el posicionamiento de la guía metálica para realizar los cortes longitudinales de los tableros de aglomerado se enfocó en tres ejes principales: Precisión de la máquina que mejoro la dimensión de corte del producto final con respecto a la antigua máquina. La seguridad que redujo posibles accidentes eléctricos mediante la implementación de equipos de protección. La accesibilidad del panel de control que facilito al usuario la operación de la máquina.

La caracterización de la sierra circular de mesa antigua fue una tarea muy importante para el desarrollo del sistema semiautomático, ya que permitió encontrar las variables y los sistemas mecánicos a implementar, como piñón cremallera, sistema de sujeción al vacío, lo cual facilito los cortes longitudinales de los tableros de aglomerado en la empresa Ambiente Modular.

Al colocar el panel de control de forma accesible para el operador se facilitó el control del sistema semiautomático. Al estar ubicado junto a la máquina permitió al personal ingresar las medidas de corte y monitorear el proceso sin desplazarse de un lugar a otro. La interfaz del panel está conformada por pulsadores, teclado y LCD, que fueron suficientes para guiar al usuario en la operación de la máquina.

La presencia de maquinaria en el entorno de trabajo del taller "Ambiente Modular" condiciona el uso del dispositivo Arduino como controlador del sistema, al no ser un controlador robusto es vulnerable al ruido electromagnético y perturbaciones externas. Por consiguiente, se observó que la conexión a tierra del sistema es indispensable y además los cables de datos deben ser blindados para mitigar riesgos de interferencias por señales eléctricas aleatorias generadas al controlar la activación de cargas inductivas tales como motor de sierra y electroválvula.

El uso de motores a paso junto con el sistema mecánico permite automatizar el desplazamiento de la guía metálica en función al corte ingresado por el operador. Con esto se eliminó de manera permanente el uso de prensas mecánicas; evitando que el usuario manipule manualmente la guía de corte para los tableros de

aglomerado. Al final se consiguió un proceso semiautomático que era el objetivo del presente trabajo.

El paro de emergencia funcionó de manera adecuada en la interrupción de la operación del motor de sierra y el desplazamiento de la guía de corte. Este funcionamiento se puede observar en las pruebas realizadas en la sección 4.2. En los resultados de las pruebas se observó un error de funcionamiento debido a un desperfecto mecánico del interruptor de paro. Para desactivar el sistema de forma inmediata fue necesario colocar el interruptor de paro en el puerto 20 de interrupción INT.3 del Arduino Mega.

La precisión en milímetros de la operación de corte se consiguió en base al trabajo conjunto del mecanismo cremallera piñón, rodamientos lineales y motores a paso utilizados. En otras palabras, el avance de la guía de corte se ajustó a la operación de los motores. Para aumentar la resolución se empleó la activación de medio paso que dio lugar a un desplazamiento de 0.2187 mm por paso.

El error absoluto y relativo del sistema proporcionó datos para conocer el funcionamiento del equipo en lazo abierto y lazo cerrado. En las pruebas realizadas en la sección 4.3 de lazo abierto y la sección 4.5 de lazo cerrado se observaron diferencias de funcionamiento del sistema. Las pruebas realizadas a distintos cortes en el sistema en lazo abierto proporcionan un error relativo de 8,75 % para un corte de 50 mm, 2,40 % para un corte de 200 mm y 0,5 % para un corte de 400 mm. Por otro lado, las pruebas realizadas a distintos cortes con el sistema en lazo cerrado proporcionan un error relativo de 0,68 % para un corte de 50 mm, 0,015 % para un corte de 200 mm y 0,013 % para un corte de 400 mm. Véase Tabla 4.7. De estas pruebas se observó, que el sistema en lazo cerrado fue el más idóneo para aumentar la calidad del producto final con respecto al sistema en lazo abierto.

#### **4.9 Recomendaciones**

Para obtener el funcionamiento adecuado de la máquina se debe realizar un mantenimiento de al menos tres veces por año, se debe revisar las partes mecánicas que se encuentren lubricadas para disminuir el desgaste provocado por la fricción entre los piñones y cremallera. En cada control se debe inspeccionar el panel de control y eléctrico para observar si existe residuos de viruta en su interior que puedan afectar a los dispositivos.

El monitoreo mediante sensores es imprescindible para ejercer un mejor control del proceso del sistema. Se recomienda colocar un sensor de flujo de aire que incrementaría la seguridad de uso de la operación escuadrar evitando el posible mal funcionamiento al no existir un caudal suficiente para la mesa al vacío.

Para el desarrollo de prototipos para la industria se recomienda utilizar un controlador más robusto para evitar la implementación de circuitos complementarios que causan errores en el procesamiento de datos debido al ruido electromagnético generado por equipos adyacentes al mismo.

Verificar los valores de voltaje y corriente nominales de los componentes eléctricos y electrónicos con los que trabaja el sistema. Esto es necesario para implementar los dispositivos de protección y alimentación adecuados que permiten prolongar la vida útil de dichos equipos.

## BIBLIOGRAFÍA

Abad, R. C. (2017). *Curso Arduino Avanzado*. España: ceei Burgos.

Altech Corp. (2014). Recuperado el 24 de Octubre de 2017, de [http://www.altechcorp.com/PDFS/Contactors\\_MC.pdf](http://www.altechcorp.com/PDFS/Contactors_MC.pdf)

Alvarez Brotons, X. (2004). *Universitat Politècnica de Catalunya*. Recuperado el 15 de Diciembre de 2017, de <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/3330/34059-5.pdf?sequence=5>

Arduino Foundation. (2010). *Arduino*. Recuperado el 4 de Noviembre de 2017, de <http://arduino.cl/arduino-mega-2560/>

Arduino Foundation. (2017). *Arduino*. Recuperado el 2 de Noviembre de 2017, de <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>

Benavides Delgado, F. (1984). *Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales España*. Recuperado el 04 de 09 de 2017, de [http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/001a100/ntp\\_096.pdf](http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/001a100/ntp_096.pdf)

Brotons, A. (Febrero de 2004). *Universidad Politècnica de Catalunya*. Obtenido de <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/3330/34059-5.pdf?sequence=5>

CEJAROSU. (2010). *Mecanismos para transmisión de movimientos*. Recuperado el 03 de 09 de 2017, de Departamento de Tecnología: [http://concurso.cnice.mec.es/cnice2006/material107/imprenta/Textos/tx\\_mecanismos.pdf](http://concurso.cnice.mec.es/cnice2006/material107/imprenta/Textos/tx_mecanismos.pdf)

Chapman, S. J. (2012). *Máquinas Eléctricas*. New York: McGraw-Hill.

Chapra, S. C., & Canale, R. P. (2007). Métodos Numéricos para ingenieros . En S. C. Chapra, & R. P. Canale, *Métodos Numéricos para ingenieros* (págs. 56-58). Mexico: McGraw-Hill.

*De Máquinas y Herramientas* . (23 de Septiembre de 2010). Obtenido de De Máquinas y Herramientas : <http://www.demaquinasyherramientas.com/herramientas-electricas-y-accesorios/sierras-circulares-para-madera>

Farinango, M. D., & Yépez, E. A. (27 de Septiembre de 2007). *Automatización de una máquina fresadora vertical o Tupí*. Obtenido de Repositorio Digital EPN: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/522>

Fox Controls. (2015). *Fox Controls Rand CC*. Recuperado el 15 de Diciembre de 2017, de <https://www.foxcontrols.co.za/fox-incremental-38-mm-dia-rotary-encoder-m38sam38sbm38sc>

Granda, I. E. (6 de Marzo de 2013). *Club de Robotica*. Obtenido de Club de Robotica: <https://eudotec.wordpress.com/2013/03/06/relacion-de-velocidades/>

International Rectifier. (2006). *Infineon*. Recuperado el Octubre de 2017, de <https://www.infineon.com/dgdl/irfz44n.pdf>

Junivall, R. C. (2013). *Diseño de Elementos de Máquinas*. México: Limusa Wiley.

MCBtec. (2008). *ENVAFILM, S.L.* Recuperado el 2 de 10 de 2017, de <http://www.mcbtec.com/pdf/MotorPAPBasico.pdf>

Meriam, J., & Kraige, L. (2004). Mecánica para Ingenieros Estática . En J. Meriam, & L. Kraige, *Mecánica para Ingenieros Estática* (págs. 85,86). Barcelona: Reverté, S.A.

Ogata, K. (2010). *Ingeniería de control moderna*. Madrid: Pearson Educación S.A.

Rodríguez, W. (2 de Marzo de 1993). *Ambiente Modular*. Obtenido de Ambiente Modular: <http://www.ambiente-modular.com/home.htm>

Rodriguez, W. (7 de Octubre de 2017). Procedimiento de trabajo en taller "Ambiente Familiar". (J. Alvear, Entrevistador)

Schneider Electric. (2017). *Schneider Electric*. Recuperado el 24 de Octubre de 2017, de <https://www.schneider-electric.com.co/es/product/>

Sons, J. W. (2008). *Handbook of Vacuum Science and Technology*. Tokyo: Dr. Karl Jousten.

Villalba, H. (2008). *Elementos de Máquinas y Sistemas*. Madrid.

Virutex. (2013). *Virutex*. Recuperado el 10 de Diciembre de 2017, de <https://www.virutex.es/img/folletos/13.pdf>

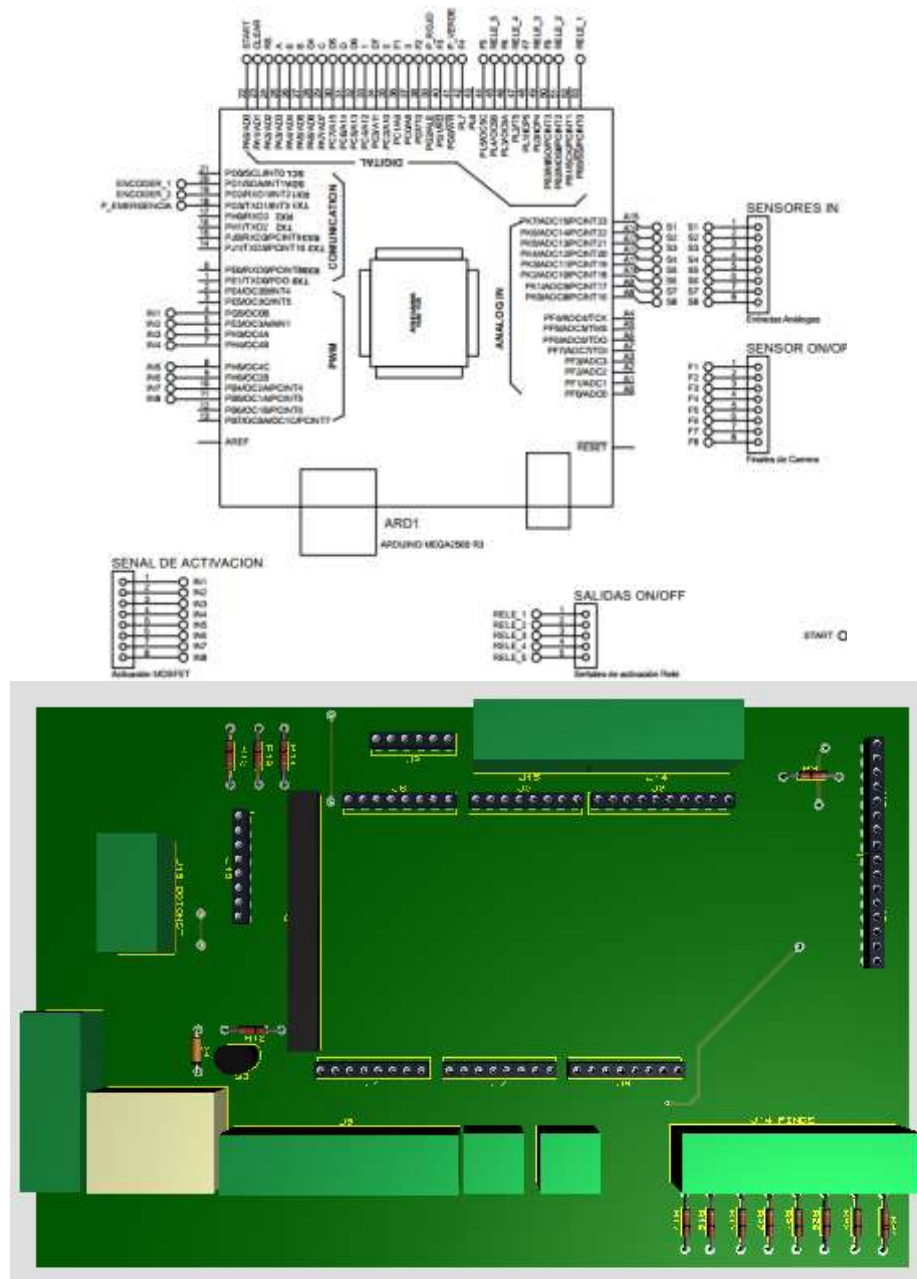
Waircom. (2010). *Waircom MBS*. Recuperado el 12 de Diciembre de 2017, de <https://www.waircom-mbs.com/valves-and-solenid-valves/>



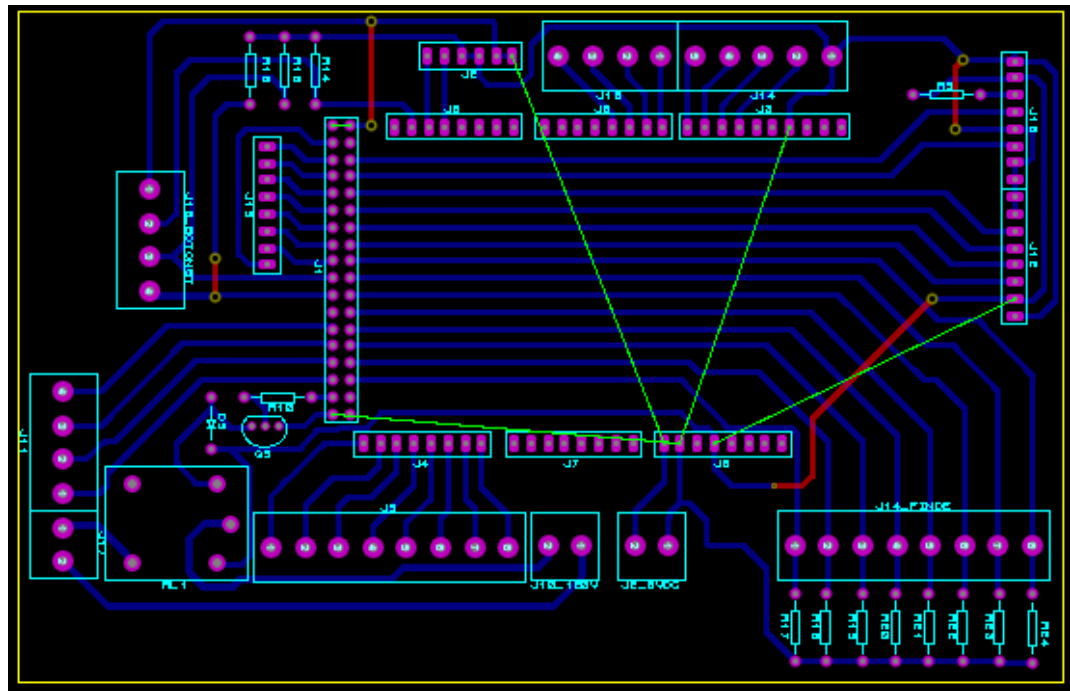
## ANEXOS

### Anexo A. Diseño en el software Proteus Placa de acople Arduino

En la primera imagen se visualiza la representación real en el programa Proteus de la placa controladora para el Arduino Mega, la segunda imagen detalla las conexiones de los diferentes dispositivos electrónicos hacia la placa de control.



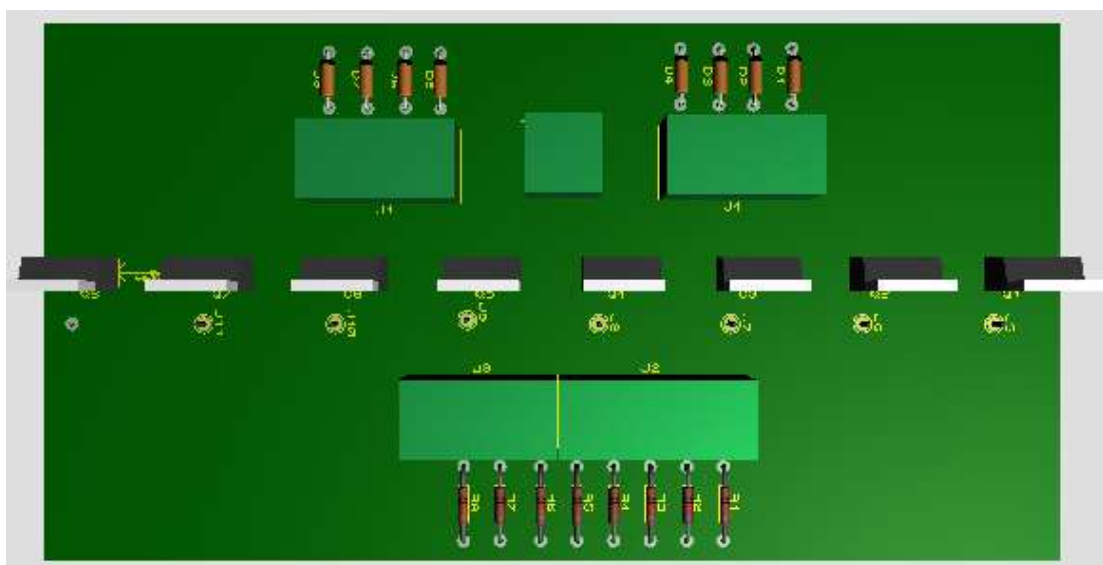
Elaborado por: Jonathan Alvear y Leonardo Llumiquinga



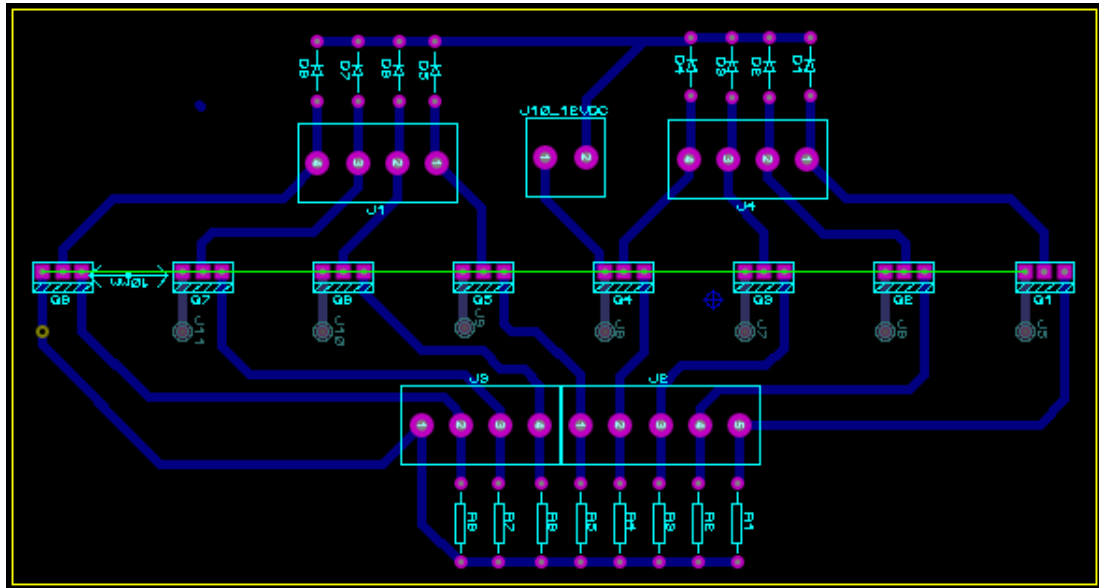
Elaborado por: Jonathan Alvear y Leonardo Llumiquinga

## Anexo B. Diseño en el software Proteus Placa controladora de motores a paso

En la primera imagen se visualiza la representación real en el programa Proteus de la placa controladora para los motores a paso, la segunda imagen detalla las conexiones de los diferentes dispositivos electrónicos hacia la placa de los motores.



Elaborado por: Jonathan Alvear y Leonardo Llumiquinga



Elaborado por: Jonathan Alvear y Leonardo Llumiquinga

## Anexo C. Programación de la placa Arduino Etapa Principal

La imagen detalla el programa principal de la tarjeta Arduino.

```
void loop(){
  int Menu=Contador(start);
  tecla=teclado.getKey();
  ingreso();
}

void ingreso(){
  if( (tecla=='*' || tecla=='#') && (aux!=2 && aux!=3 && aux!=4) ){
    lcd.clear();
    indice=0;
    corte=0;
    borrar_vec();
    aux2=0;
    aux=0;
  }

  if(tecla=='*' && (aux!=2 && aux!=3 && aux!=4)){
    lcd.clear();
    delay(100);
    lcd.setCursor(7,1);
    lcd.print("CORTAR");
    delay(1000);
    lcd.clear();
    acum=1;
  }
  if(tecla=='#' && (aux!=2 && aux!=3 && aux!=4)){
    lcd.clear();
    delay(100);
    lcd.setCursor(6,1);
    lcd.print("ESCUADRAR");
    delay(1000);
    lcd.clear();
    acum=2;
  }
}
```

Elaborado por: Jonathan Alvear y Leonardo Llumiquinga

## Anexo D. Programación de la placa Arduino Método “Cortar”

La imagen detalla el proceso de cortar, en el cual se visualiza solo el primer caso, debido a que los restantes siguen la misma lógica de programación.

```
void cortar() {
  if(digitalRead(borrar)==LOW && (aux==1)){
    lcd.clear();
    indice=0;
    corte=0;
    borrar_vec();
    aux=0;
  }

  switch (aux){

    case 0:
      flag=false;
      digitalWrite(ElectroValvula,apagar);
      digitalWrite(luzRoja, apagar);
      digitalWrite(motorAC,apagar);
      delay(100);
      digitalWrite(luzVerde, apagar);
      lcd.setCursor(0,0);
      lcd.print("  Ambiente Modular  ");
      lcd.setCursor(0,2);
      lcd.print("INGRESE CORTE: ");
      lcd.setCursor(12,3);
      lcd.print("mm.");

      if (tecla && digitalRead(borrar)== HIGH && tecla!='*'){
        valor[indice]=tecla;
        indice++;
        lcd.setCursor(7+indice,3);
        lcd.print(tecla);
      }

      if(indice<=3 && digitalRead(start)==HIGH){
        corte=atoi(valor);
      }

      if(indice>3 || digitalRead(borrar)==LOW){
        lcd.setCursor(7,3);
        lcd.print("      ");
        borrar_vec();
        indice=0;
      }
      break;
  }
```

Elaborado por: Jonathan Alvear y Leonardo Llumiquinga

## Anexo E. Programación de la placa Arduino Método “Escuadrar”

La imagen detalla el proceso de cortar, en el cual se visualiza solo el primer caso, debido a que los restantes siguen la misma lógica de programación.

```
void escuadrar(){
    if(digitalRead(start)!=estado2){
        if(digitalRead(start)==HIGH){
            aux2++;
            lcd.clear();
        }
    }
    estado2=digitalRead(start);

    if(digitalRead(borrar)==LOW){
        lcd.clear();
        aux2=0;
    }

    switch(aux2){
        case 0:
            digitalWrite(motorAC,apagar);
            delay(100);
            digitalWrite(ElectroValvula,apagar);
            delay(100);
            digitalWrite(luzVerde,apagar);
            lcd.setCursor(0,0);
            lcd.print(" Ambiente Modular ");
            lcd.setCursor(0,2);
            lcd.print("SUJECION:");
            lcd.setCursor(0,3);
            lcd.print("      OFF.      ");
            break;
    }
```

Elaborado por: Jonathan Alvear y Leonardo Llumiquinga

## Anexo F. Programación de la placa Arduino “función\_motor”

La imagen muestra el método de control del posicionamiento de la guía de corte.

```
void funcion_motor(int medidac) {
    float pasos;
    //int pulsos1;
    //pasos=(medidac*4.571)-1*pow(10,-13); //Matematica
    // pasos=(4.634*medidac)+1.100; //Real sin encoder 400->
    //pasos=(4.571*medidac)+0.006; //matematica 1
    // pasos=(4.636*medidac)-0.627; //Real con Encoder
    pasos = (4.630 * medidac) - 2.152; //REAL hoja de sierra
    numpasos = round(pasos);
    Serial.println(numpasos, DEC);
}
```

Elaborado por: Jonathan Alvear y Leonardo Llumiquinga

## Anexo G. Programación de la placa Arduino “Motorretro”

La imagen detalla le método de retroceso de la guía de corte, condicionado por los finales de carrera.

```

//-----RETRO-----
void motorretro(int numerodepasos) {
    int pulso = 0;
    int j = 0;
    for (j = 1; j <= numpasos; j++) {
        if ((digitalRead(FIN_IZQ) == LOW && digitalRead(FIN_DER) == LOW) && j < numpasos) {
            j = numpasos;
            Serial.println("Listo");
        } else if ((digitalRead(FIN_IZQ) == HIGH && digitalRead(FIN_DER) == HIGH) && j == numpasos) {
            j = 1;
        }
    }
    if (contador == 8 || j == numpasos + 1) {
        contador = 1;
    } else {
        contador++;
    }
    switch (contador) {
        case 1:
            motorpaso(0, 0, 0, 1);
            delay(t);      break;
        case 2:
            motorpaso(0, 0, 1, 1);
            delay(t);      break;
        case 3:
            motorpaso(0, 0, 1, 0);
            delay(t);      break;
        case 4:
            motorpaso(0, 1, 1, 0);
            delay(t);      break;
        case 5:
            motorpaso(0, 1, 0, 0);
            delay(t);      break;
        case 6:
            motorpaso(1, 1, 0, 0);
            delay(t);      break;
        case 7:
            motorpaso(1, 0, 0, 0);
            delay(t);      break;
        case 8:
            motorpaso(1, 0, 0, 1);
            delay(t);      break;
    }
    contador = 0;
}
}
```

Elaborado por: Jonathan Alvear y Leonardo Llumiquinga

## Anexo H. Programación de la placa Arduino “contador”

La imagen detalla le método contador, condicionado por los valores ingresados, es decir, el método trabaja siempre y cuando el valor ingresado se encuentre dentro del rango de 1 a 500 mm

```
//-----BOTON START VERDE-----  
  
int Contador(int pin){  
  if(digitalRead(start)!=estado){  
    if(digitalRead(start)==HIGH || flag==true){  
      if( (corte>0 && corte<=500)){  
        lcd.clear();  
        delay(1);  
        aux++;  
      }else if(acum==1 && (corte==0 || corte>500)){  
        w1();  
      }  
    }  
  }  
  estado=digitalRead(start);  
  
  if(aux>=5){  
    indice=0;  
    corte=0;  
    borrar_vec();  
    aux=0;  
  }  
  return aux;  
}
```

Elaborado por: Jonathan Alvear y Leonardo Llumiquinga

## Anexo I. Programación de la placa Arduino de los métodos para el paro de emergencia y sensor Encoder.

La imagen posee la programación de la subrutina que permite la lectura y activación del Encoder M38SA y del paro de emergencia.

```
//-----ENCODER-----  
void doEncoder() {  
  if (digitalRead(encoderOPinA) == digitalRead(encoderOPinB)) {  
    encoderOPos++;  
  } else {  
    encoderOPos--;  
  }  
  Serial.println (encoderOPos, DEC);  
}  
  
//-----PARO EMERGENCI-----  
void STOP1() {  
  lcd.clear();  
  
  digitalWrite(luzVerde, apagar);  
  digitalWrite(luzRoja, prender);  
  digitalWrite(motorAC, apagar);  
  digitalWrite(ElectroValvula, apagar);  
  i = 5;  
  encoderOPos = numpasos;  
}
```

Elaborado por: Jonathan Alvear y Leonardo Llumiquinga



**Anexo J. Fotografías de los cortes realizados a 50 mm 200 mm y 400 mm**

50 mm:



Elaborado por: Jonathan Alvear y Leonardo Llumiquinga

200 mm: Corte total de tablero de aglomerado de 0,6 de grosor



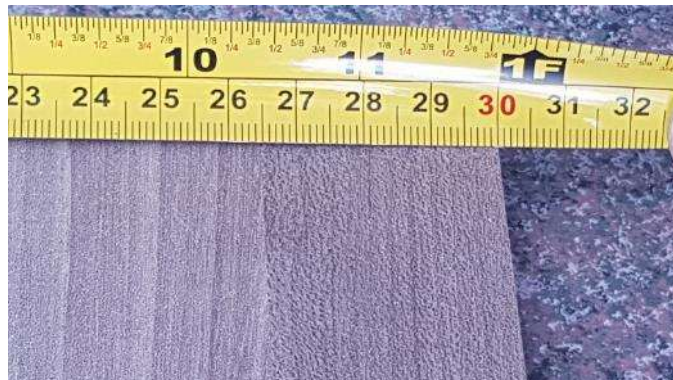
Elaborado por: Jonathan Alvear y Leonardo Llumiquinga





Elaborado por: Jonathan Alvear y Leonardo Llumiquinga

300 mm: Corte total de tablero de aglomerado de 0,6 de grosor



Elaborado por: Jonathan Alvear y Leonardo Llumiquinga